

**ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS METODOLOGÍAS DE CBR DE DISEÑO PARA EL
CALCULO DE ESPESORES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

ANDREA CAROLINA PADILLA MARTÍNEZ

ROSA INÉS PINTO CASTRO

DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

BARRANQUILLA – ATLÁNTICO

2019

**ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS METODOLOGÍAS DE CBR DE DISEÑO PARA EL
CALCULO DE ESPESORES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

ANDREA CAROLINA PADILLA MARTÍNEZ

ROSA INÉS PINTO CASTRO

TUTOR

ING. ABRAHAM GUILLERMO CASTAÑEDA AMASHTA

COTUTOR

ING. MICHELLE JOHANA MURILLO ACOSTA



DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

BARRANQUILLA – ATLÁNTICO

2019

Notas de Aceptaciones

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Dedicatorias

Dedico:

A Dios, ya que ha sido el motor que me impulsado a ser constante en mi esfuerzo por realizar este trabajo de grado y a la vez colocó en mi camino personas maravillosas que me han brindado muchos aprendizajes.

A mi familia por ser mi apoyo incondicional en la búsqueda de mis sueños, por siempre alentarme, mostrar su gratificante orgullo y enseñar a dar lo mejor de mí todo momento.

A mi compañera de trabajo Rosa Pinto, porque más que mi compañera, se convirtió en mi amiga de muchas luchas y ambas fuimos testigos de todo el tiempo, el amor y el empeño puesto en este trabajo, del cual ambas nos llevamos muchos frutos para nuestra vida profesional.

Andrea Carolina Padilla Martínez

Dedico:

A Dios, que es el pilar principal de toda mi vida y quien permitió que este trabajo pudiera culminarse.

A las personas más importantes en mi vida, mis padres, que siempre me han brindado su apoyo, compañía, comprensión y amor para lograr cada una de las metas que me he trazado en la vida.

A mis hermanos que constantemente están presentes para ayudarme, apoyarme y darme fuerzas en los momentos que he sentido desfallecer.

A mi compañera de lucha, Andrea Padilla, quien se convirtió en un ejemplo a seguir para mí y con quien fue posible llevar a cabo el cumplimiento de esta meta.

Al resto de mi familia y amigos que me apoyaron para que este gran esfuerzo se volviera realidad demostrándome su afecto y lo orgullosos que se sentían de mí.

Rosa Inés Pinto Castro.

Agradecimientos

Las autoras agradecen la colaboración del ingeniero Abraham Castañeda, tutor e ingeniero encargado de este proyecto de grado, por la disposición, dedicación y apoyo para orientar y llevar a cabo la investigación suministrando los datos a estudio y todos sus conocimientos dentro del campo de pavimentos.

De igual manera, agradecen a la ingeniera Michelle Murillo, perteneciente al cuerpo investigativo de la Universidad de la Costa (CUC) y cotutora de dicha investigación, por su apoyo y orientación para el mejor desenvolvimiento de este trabajo de grado.

Finalmente, agradecen a toda la comunidad académica y administrativa de la Universidad de la Costa, por brindarles el conocimiento necesario para el desarrollo de la temática de investigación e incentivar en sus estudiantes el desarrollo de nuevas ideas que fortalecen todas las competencias adquiridas durante el proceso de preparación como profesional.

Las autoras

Resumen

En Colombia, el diseño de pavimentos flexibles ha sido objeto de estudio durante los últimos años debido a, en primera instancia, las metodologías adoptadas para la obtención de los espesores de la estructura y, en segunda instancia debido a los resultados tan variados que estas arrojan. Dichas metodologías surgieron, en consecuencia, de una experimentación necesaria para poder entregar vías de buena calidad en donde su nivel de servicio fuese apto eficaz. Este trabajo pretende realizar un análisis comparativo dentro de las metodologías de obtención del CBR de diseño para el cálculo de los espesores de un pavimento flexible. Dichos métodos están dados por el Instituto del Asfalto, el Criterio de la Media y el Promedio Aritmético. Para el desarrollo de este proyecto, se tomó en consideración una vía de aproximadamente 90 Km en el Departamento de Bolívar (Colombia) dividida en 5 trechos viales principales y que, a su vez, cuenta con tramos homogéneos que ayudaron al cálculo y análisis de los espesores de cada capa necesaria dentro de un pavimento de esta tipología.

Palabras clave: CBR, Pavimento, Pavimento Flexible, Asfalto

Abstract

In Colombia, the design of flexible pavements has been studied in recent years as a result of, in the first instance, the methodologies adopted to obtain the thickness of the structure and, in the second instance, due to the varied results they bring. These methodologies arose, consequently, from a necessary experimentation to be able to deliver high quality roads where their level of service was effective. It project aims to perform a comparative analysis within the methodologies of obtaining the CBR design for the calculation of the thicknesses of a flexible pavement. These methods are given by the Asphalt Institute, the Average Criteria and the Arithmetic Average. For the development of this project, a route of approximately 90 km was considered in the Department of Bolivar (Colombia) divided into 5 main road sections and, in turn, has homogeneous sections that helped the calculation and analysis of the thicknesses of each layer required within a pavement of this type.

Keywords: CBR, Pavement, Flexible Pavement, Asphalt

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	11
1. Introducción.....	20
2. Planteamiento del Problema	21
3. Objetivos.....	22
a. Objetivo General.....	22
b. Objetivos Específicos.....	23
4. Justificación	23
5. Marco Teórico	24
5.1. Antecedentes	24
5.2. Marco Conceptual	25
5.2.1. Método de las Diferencias Acumuladas para Delimitación de Unidades Homogéneas	25
5.2.3. Determinación del CBR de Diseño.....	35
5.2.4. Coeficiente de Variación.....	37
5.2.5. Módulo de Resiliencia	38
5.2.6. Metodología Racional para el diseño de Pavimentos Flexibles.....	38
5.2.7. Metodología Shell 1978.....	39
5.2.8. Bisar 3.0 (Bitumen Stress Analysis in Roads).....	42
6. Metodología.....	42

7. Desarrollo del Proyecto	44
8. Conclusiones.....	105
Referencias.....	108
ANEXOS	110

Listado de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Solución tabulada de la aproximación sucesiva de las diferencias acumuladas	27
Tabla 2. Serviciabilidad Inicial, P_o	29
Tabla 3. Serviciabilidad Final, P_t	29
Tabla 4. Error normal combinado para pavimentos flexibles, S_o	30
Tabla 5. Niveles de confiabilidad sugeridos para varios tipos de carreteras	30
Tabla 6. Percentiles para determinar el CBR de diseño de acuerdo con el Criterio del Instituto del Asfalto	35
Tabla 7. Desviación normal estándar para diferentes niveles de confianza.	36
Tabla 8. Deformación Admisible Criterio de la Shell	42
Tabla 9. Cálculo de la variable estadística Z_x	49
Tabla 10. %CBR mayores o iguales para tramo homogéneo 5.	53
Tabla 11. %CBR de diseño para tránsitos de 500.000 ejes a través del IA.	56
Tabla 12. %CBR de diseño para tránsitos de 500.000 ejes a través del IA.	56
Tabla 13. %CBR de diseño y Coeficiente de variación a partir del criterio del promedio aritmético.	58
Tabla 14. %CBR promedio y desviación estándar para el método del criterio de la media	59
Tabla 15. %CBR de diseño para cada tramo homogéneo teniendo en cuenta las metodologías en estudio.	60
Tabla 16. Valores no variables en el cálculo del SN.	62
Tabla 17. SN de diseño para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).	73
Tabla 18. Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).	73

Tabla 19. SN de diseño para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).	74
Tabla 20. Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).	74
Tabla 21. SN de diseño para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).	75
Tabla 22. Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).	75
Tabla 23. SN de diseño para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).	76
Tabla 24. Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).	76
Tabla 25. SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).....	80
Tabla 26. Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).	80
Tabla 27. SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).....	81
Tabla 28. Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).	81
Tabla 29. SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).....	82
Tabla 30. Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).	82
Tabla 31. SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).....	83
Tabla 32. Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).	83
Tabla 33. Código de color para cada metodología.	84
Tabla 34. Comparación SN y espesor Vs %CBR Tramo homogéneo 5 (500.000 ejes).....	85
Tabla 35. Porcentaje de variación en los SN total - 500.000 ejes.....	86
Tabla 36. Porcentaje de variación en los SN total - 500.000 ejes.....	87
Tabla 37. Comparación SN y espesor vs %CBR Tramo homogéneo 5 (1.000.000 ejes).....	87
Tabla 38. Porcentaje de variación en los SN total - 1.000.000 ejes.....	88
Tabla 39. Porcentaje de variación en los espesores - 1.000.000 ejes.....	89
Tabla 40. Comparación SN y espesor Vs %CBR Tramo homogéneo 5 (1.500.000 ejes).....	89
Tabla 41. Porcentaje de variación en los SN total - 1.500.000 ejes.....	91

Tabla 42. Porcentaje de variación en los espesores - 1.500.000 ejes.....	91
Tabla 43. Comparación SN y espesor Vs %CBR Tramo homogéneo 5 (2.000.000 ejes).....	91
Tabla 44. Porcentaje de variación en los SN total - 2.000.000 ejes.....	93
Tabla 45. Porcentaje de variación en los espesores - 2.000.000 ejes.....	93
Tabla 46. Porcentaje de variación de SN hasta 11.000.000 ejes.....	95
Tabla 47. Porcentaje de variación de espesores hasta 11.000.000 ejes.....	100

Figuras

Figura 1. Valores recomendados de coeficientes de drenaje (m_i).....	34
Figura 2. Tramo I.	46
Figura 3. Tramo II.	47
Figura 4. Tramo III.	47
Figura 5. Tramo IV.	48
Figura 6. Tramo V.....	48
Figura 7. Selección de los tramos homogéneos del trecho vial en estudio.....	52
Figura 8. Selección del %CBR a partir de los percentiles de 75 y 87,5% para el criterio del Instituto del Asfalto.....	55
Figura 9. Ecuación AASTHO 93 en el cálculo del SN.....	63
Figura 10. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 500.000 ejes	64
Figura 11. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 1.000.000 ejes	65
Figura 12. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 1.500.000 ejes	66
Figura 13. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 2.000.000 ejes	67
Figura 14. Magnitud y posicionamiento de la carga para el análisis.	68
Figura 15. Datos ingresados bisar diseño por el método del instituto del asfalto 500.000 ejes ...	69

Figura 16.Coordenadas para el análisis de deformaciones	69
Figura 17. Deformaciones del diseño de pavimento por el método del instituto del asfalto 500000 ejes (Tramo homogéneo 5).	70
Figura 18.Datos para chequeo de deformaciones diseño por el método del instituto del asfalto 500000 ejes	71
Figura 19. Deformaciones ingresadas al Excel para diseño por método del instituto del asfalto 500000 ejes	71
Figura 20. Deformaciones admisibles por Ley de Shell, para diseño por método instituto del asfalto 500000 ejes.....	72
Figura 21. Espesores mínimos recomendados por la ASSHTO.	77
Figura 22. Espesores de la estructura de pavimento Recalculado con tránsito de 500.000 ejes ..	78
Figura 23. Deformaciones del diseño de pavimento recalculado por el método del Instituto del Asfalto para 500000 ejes.....	79
Figura 24. Deformaciones admisibles por Shell, para diseño recalculado por el método del Instituto del Asfalto 500000 ejes.	79
Figura 25.Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5.....	85
Figura 26.Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5.....	86
Figura 27.Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5.....	87
Figura 28. Variación de espesores entre métodos Tramo Homogéneo 5	88
Figura 29. Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5.....	90
Figura 30. Variación de espesores entre métodos Tramo Homogéneo 5	90
Figura 31.Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5.....	92
Figura 32. Variación de espesores entre métodos Tramo Homogéneo 5	92

Figura 33. Comparación entre SN total y N° de ejes equivalentes.	94
Figura 34. Comparación entre espesores y N° de ejes equivalentes.	94

Listado de Abreviaturas

ai: Coeficiente Estructural	mm: Milímetro
°C: Grado Centígrado	MPa: MegaPascal
CBR: California Bearing Ratio (Capacidad de Soporte)	Mr: Módulo Resiliente
cm: Centímetro	N: Ejes equivalentes de 8.2 toneladas
D: Espesor de Capa	No: Número
E₁: Módulo de Elasticidad de la capa de rodadura	PSI: Libras por pulgada cuadrada
E₂: Módulo de Elasticidad de la base granular	P_o: Índice de Serviciabilidad Inicial
E₃: Módulo de Elasticidad de la subbase granular	P_t: Índice de Serviciabilidad Final
INVIAS: Instituto Nacional de Vías	Pulg: Pulgada
Km: Kilometro	R: Nivel de Confianza (Confiabilidad)
m: Coeficiente de Drenaje	SN: Número Estructural
	S_o: Desviación Estándar
	Ø: Coeficiente de Variación

Glosario

Asfalto	Mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y minerales que se emplea en el pavimento de calzadas.
Base Granular	Capa granular de un pavimento flexible situada inmediatamente debajo de la capa asfáltica.
Calzada	Zona de la vía destinada a la circulación de los vehículos.
Capa:	Parte de la subrasante o del pavimento constituida por materiales homogéneos dispuestos, generalmente con espesor uniforme.
Capa Asfáltica De Rodadura	Capa superior de un pavimento flexible.
Capacidad Vial	Es el número máximo de vehículos que pueden circular por una u otra vía durante un periodo de tiempo determinado, sin que se presenten demoras ni restricciones en la libertad de movimiento de los vehículos.
Carga Equivalente De Diseño	Carga de 80 KN por eje simple con sistema de rueda doble utilizada como referencia para la evaluación de diseño de pavimentos asfálticos.
Carretera	Vía diseñada para el tránsito de vehículos terrestres automotores.
Carril	Parte de la calzada que puede acomodar una sola fila de vehículos de cuatro o más ruedas.

Coefficiente Estructural	Permiten convertir los espesores reales de las capas de un pavimento a números estructurales SN. Metodología Aashto.
Confiabilidad	Probabilidad de que una sección de pavimento diseñada se comporte satisfactoriamente bajo las condiciones de transito y ambientales durante el periodo de diseño
Mezcla Asfáltica	Material utilizado en la ingenieria de pavimentos, formada por una combinación de agregados pétreos y un producto asfáltico.
Módulo Resiliente	Caracteriza el comportamiento a deformación elástica de suelos. En un ensayo triaxial de carga repetida a presión de confinamiento constante, es la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación elástica unitaria axial.
Número De Ejes Equivalentes	Es el número de pasadas de un eje tipo que producirán en un pavimento el mismo grado de fallos que el ocasionado por el conjunto de los ejes del tránsito pesado real que circule por el mismo.
Número Estructural	Es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo de subrasante, del tránsito, de la condicion inicial y final de servicio y de las condiciones ambientales.
Pavimento	Conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, colocados sobre la subrasante para permitir la circulación de vehiculos, en las

debidas condiciones de seguridad y comodidad, de manera que los esfuerzos transmitidos al suelo de fundación sean admisibles para este.

Periodo De Diseño	Lapso de tiempo transcurrido desde que un pavimento nuevo o recién rehabilitado se da al servicio, hasta que alcanza su índice de servicio terminal.
Rasante	Línea longitudinal de una calzada que representa los niveles del centro de la superficie de rodadura a lo largo de la calzada.
Subbase	Capa de material granular situada entre la base granular de un pavimento y la subrasante.
Subrasante	Es la capa de suelo que constituye la parte superior de las explanaciones, sobre la cual se construye el pavimento, siendo su función básica proporcionar a este un apoyo adecuado.
Tránsito	Acción de desplazamiento de personas, vehículos y animales por las vías.
Vía	Zona de uso público o privado abierta al público destinada al tránsito de público, personas y/o animales.

1. Introducción

En el momento de diseñar y construir un pavimento, como ingenieros debemos partir de la base de que éste es la combinación de capas y materiales más económica posible que garantiza la adecuada dispersión de las cargas dinámicas y ambientales, de manera que el pavimento no presente esfuerzos ni deformaciones excesivas durante su vida útil. (Castillo, 2014)

Sin embargo, en países como Colombia, el sistema vial difícilmente cumple con las hipótesis anteriormente mencionadas, generándose una brecha entre los espacios, su acceso e interacción. Esto sumado a que, dentro del diseño de la estructura de pavimento existen diferenciaciones que retardan aún más el desarrollo vial del país; considerando que cada profesional cualificado para el diseño de pavimentos toma como referencia el método que contempla como exacto y eficaz.

Dentro de esos métodos de diseño encontramos una alta variabilidad en los criterios de selección para el CBR de diseño. Dichos criterios están dados por el Instituto del Asfalto, el Promedio Aritmético y el Criterio de la Media, los cuales estudian de manera independiente diferentes variables al momento de determinar los espesores de la estructura de pavimentos. Por lo tanto, posiblemente se pueden obtener diferentes espesores al aplicar los distintos métodos de diseño, aunque se empleen los mismos datos de entrada. Gran parte de estas diferencias se debe a la falta de una descripción precisa y cuantitativa de lo que constituye la falla de un pavimento, así como a los niveles de confiabilidad que consideran cada uno de los diferentes métodos. (Sanchez, 2016)

Así mismo, tales criterios están fundamentados bajo la metodología empírica AASHTO 93, la cual es la más utilizada en el país para el diseño de pavimentos flexibles debido a que

se sustenta en una relación de regresión entre el número de ciclos de carga, la capacidad estructural del pavimento, y el rendimiento, medido en términos de capacidad de servicio, índice que se basa en las fallas de la superficie que se encuentran comúnmente en pavimentos. (AASHTO 93)

De esta manera, se contempla que el tránsito que lleva a la falla del pavimento está en función del número estructural (SN), de la resistencia de la subrasante (MR), de la pérdida deseada de índice de servicio (P_t) y de la confiabilidad elegida (S_o).

De acuerdo con lo anterior, este trabajo se basó en comparar las variaciones de los diseños de la estructura de pavimento de una vía del Departamento de Bolívar (Colombia), comprendida aproximadamente por 90 km, mediante los parámetros señalados por la metodología AASHTO 93 para los métodos de cálculo de los espesores de la estructura a través de los criterios previamente mencionados.

2. Planteamiento del Problema

El desarrollo vial de un país está asociado con el progreso socioeconómico de este, es decir, un país que tiene un eficiente y apropiado sistema vial ante el mundo es visto como independiente y competente. Esto a razón de que de la red vial dependen el transporte, las comunicaciones, el comercio y, aún más importante, esta permite el traslado de las personas de un lugar a otro posibilitando que estos se desenvuelvan en un ambiente propicio para la educación, la recreación, la atención médica, entre otros. En Colombia, las vías durante años han presentado un sin número de defectos que han truncado el desarrollo económico y social del país.

Sin embargo, en los últimos años, se han establecido mejoras en adecuación y construcción de nuevas vías de acceso entre los diferentes municipios del país, como es el caso de las vías 4G (Cuarta Generación), las cuales se abren al mundo del diseño de pavimentos flexibles y de las metodologías que se utilizan para lograr dicho diseño. Los 90 km aproximadamente en estudio de este proyecto hacen parte de esas mejoras que facilitan la comunicación entre los tramos en ejecución.

No obstante, dentro de los diseños de pavimentos flexibles se presentan diferentes inconvenientes a la hora de la estructuración de la vía en consideración, esto debido a que, cada ingeniero competente en el área escoge a su criterio el método que considera más provechoso o ventajoso sin contemplar todas las variables presentes dentro de un diseño como lo son el CBR de diseño, la capacidad del suelo, el tráfico, los factores ambientales y, sin duda una de las más importantes, el costo que este puede tener.

Dado esto surge el siguiente interrogante: ¿Cuál sería el mejor método para realizar un buen diseño de pavimentos flexible teniendo en cuenta las variables anteriormente mencionadas y estudiando los criterios del Instituto del Asfalto, el Criterio de la Media y el Promedio Aritmético a través de la metodología ASSHTO 93?

3. Objetivos

a. Objetivo General

Comparar la variabilidad del cálculo de espesores en pavimentos flexibles teniendo en cuenta el CBR de diseño calculado a partir de diferentes metodologías.

b. Objetivos Específicos

- Estudiar de manera detallada cada una de las metodologías válidas para la estimación del CBR de diseño en pavimentos flexibles.
- Estimar un CBR de diseño para cada tramo homogéneo de la vía objeto de estudio, a partir de cada metodología considerada.
- Calcular los espesores de cada capa necesaria para la estructura de pavimento dada por el CBR de diseño.
- Evaluar la mejor metodología dado del análisis comparativo de cada una mediante el cálculo de los espesores de la estructura de pavimento flexible.

4. Justificación

En Colombia la metodología más utilizada para el cálculo de las estructuras de pavimentos flexibles es la AASHTO 93. Esta, dentro de las variables que concierne, considera el CBR como parámetro fundamental en la resistencia de la subrasante del área en pavimentación, así como también el número estructural (SN) y el número de ejes equivalentes (N).

Por otra parte, para el cálculo de los espesores de cada capa de la estructura esta metodología se apoya en diferentes criterios como lo son el del Instituto del Asfalto, el Criterio de la Media y el Promedio Aritmético y, a su vez, cada uno de estos criterios se sustentan en distintos parámetros que estiman un aproximado del CBR de diseño como lo son el nivel de confiabilidad, el porcentaje de variación y la desviación estándar de los datos.

No obstante, cada ingeniero en disposición de sus facultades selecciona el criterio que considera más conveniente para su diseño, mostrándose así, una no homogenización dentro de la ingeniería vial del país.

Es por eso, que con esta investigación se busca analizar cada uno de estos métodos con el fin de entregar un soporte del por qué un método es más eficiente que el otro dependiendo de todas las variables iniciales y que generarán a futuro mejores estructuras de pavimentos con espesores óptimos y eficaces.

5. Marco Teórico

Traer a colación el diseño de pavimentos flexibles en Colombia permite esclarecer diferentes terminologías que envuelven al diseño en consideración. A razón de esto, en el siguiente aparte se darán a conocer diferentes parámetros que ayudaron en el desenvolvimiento del presente proyecto de investigación.

5.1. Antecedentes

La invención del automóvil y su alta demanda de compra a través de los años contribuyeron con la construcción y mejoras de las vías de acceso a los diferentes lugares, para nuestro caso, a ciudades, pueblos y/o corregimientos de Colombia. Sin embargo, con el paso de los años, ya no solo se contaban con pequeños automóviles, sino que fueron aumentando el tamaño y peso de los mismos para transportar desde personas, alimentos hasta animales y objetos lo que provocó que se crearan técnicas o métodos que reforzaran los criterios del conocimiento dentro de la construcción de las vías y el diseño de los pavimentos.

Así pues, desde el análisis del diseño de los pavimentos, dichas técnicas se basaron en condiciones conocidas tales como: el clima, el tráfico y/o el tipo de materiales a usar.

Teniendo en cuenta esto, los primeros en experimentar y dar a conocer métodos para el diseño de pavimentos fueron los estadounidenses con un cuerpo de ingenieros que para los años de 1928 y 1929 utilizaron el ensayo de CBR (California Bearing Ratio, siglas en inglés) para caracterizar la capacidad de soporte de los materiales de pavimento en diseño de espesores de capas, método que ha sido adaptado con el paso de los años con diferentes metodologías para tener un valor exacto dentro de los valores que puede arrojar el ensayo. (Jiang, Yuen, & Ren, 2015)

Actualmente, existen metodologías como la del Instituto del Asfalto, el Criterio de la Media en función de la confiabilidad propuesto por la AASHTO y el Promedio Aritmético utilizadas como herramientas para la determinación del CBR de diseño de una vía en estudio, sin embargo, cada uno entrega valores que podrían en determinado caso estar distantes el uno del otro, generándose diferencias en la estructura final de pavimento.

5.2. Marco Conceptual

5.2.1. Método de las Diferencias Acumuladas para Delimitación de Unidades

Homogéneas

Buena parte del éxito de un programa de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos reposa en la correcta definición de unidades de diseño estadísticamente homogéneas. Para delimitarlas, el ingeniero se basa tanto en los antecedentes históricos de la calzada, como en la inspección del estado superficial del pavimento y el análisis de algunas otras variables que, a través de medidas numéricas, permitan conocer la condición real de respuesta del pavimento.

El establecimiento de tramos homogéneos mediante estas últimas se puede efectuar de manera subjetiva, realizando un dibujo que muestre el comportamiento de la variable medida a lo largo del proyecto o se puede realizar de una manera más objetiva mediante procedimientos

analíticos, entre los cuales se puede citar el de las “diferencias acumuladas”, descrito en el Apéndice J de la guía de diseño de pavimentos AASHTO 1993. El procedimiento, de tipo estadístico, se basa en el hecho matemático simple de que cuando la variable Z_x (definida como la diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total desarrollada por la respuesta promedio de todo el proyecto hasta la misma distancia) se dibuja como función de la distancia a lo largo del proyecto, los límites de los tramos homogéneos

ocurren en los puntos donde la pendiente de la línea que representa la variación de Z_x con la longitud, cambia de signo.

La Tabla E.1 ilustra los pasos necesarios para el cálculo de Z_x .

Tabla 1.

Solución tabulada de la aproximación sucesiva de las diferencias acumuladas

(1) Estación (Km)	(2) Valor de Respuesta del Pavimento (r_i)	(3) Numero de intervalo (n)	(4) Distancia del Intervalo (Δx_i)	(5) Distancia Acumulada ($\Sigma \Delta x_i$)	(6) Valor de Respuesta Promedio \bar{r}_i	(7) Área del Intervalo Real (a_i)	(8) Área Acumulada (Σa_i)	(9) Z_x $Z_x = (8) - F \cdot (5)$ $F = \frac{(\Sigma a_i)_{Total}}{\Sigma \Delta x_i \text{ Total}}$
1	r_1	1	Δx_1	Δx_1	$\bar{r}_1 = \bar{r}_1$	$a_1 = \bar{r}_1 * \Delta x_1$	a_1	$Zx_1 = a_1 - F * \Delta x_1$
2	r_2	2	Δx_2	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$\bar{r}_2 = \frac{(r_1 + r_2)}{2}$	$a_2 = \bar{r}_2 * \Delta x_2$	$a_1 + a_2$	Zx_2 $= (a_1 + a_2 - F$ $* (\Delta x_1 + \Delta x_2))$
3	r_3	3	Δx_3	$\Delta x_1 + \Delta x_2$ $+ \Delta x_3$	$\bar{r}_3 = \frac{(r_2 + r_3)}{2}$	$a_3 = \bar{r}_3 * \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$	Zx_3 $= (a_1 + a_2 + a_3)$ $- F * (\Delta x_1 + \Delta x_2$ $+ \Delta x_3)$
L_p	r_n	n_t	Δx_{nt}	$\Delta x_1 + \dots +$ Δx_{nt}	\bar{r}_{nt} $= \frac{(r_{n-1} + r_n)}{2}$	$a_{nt} = \bar{r}_{nt} *$ Δx_{nt}	$a_1 + \dots + a_{nt}$	Zx_{nt} $= (a_1 + \dots + a_{nt})$ $- F * (\Delta x_1 + \dots$ $+ \Delta x_{nt})$

5.2.2.

Fuente: Instituto Nacional de Vías, Método de las Diferencias Acumuladas para delimitación de unidades homogéneas. Anexo E.

5.2.3. Método AASHTO – 1993

El método AASHTO – 1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento el cual hace referencia a la resistencia estructural de un pavimento requerido teniendo en cuenta una combinación de soporte del suelo (M_r), un tránsito total (W_{18}), una serviciabilidad terminal y unas condiciones ambientales. Para determinar el número estructural, el método se apoya en la siguiente ecuación:

$$\log W_{18} = Z_r * S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)} + 2.32 \log M_r - 8.07$$

Ecuación 1.

Estructura básica para el cálculo del número estructural.

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Donde:

- W_{18} = Número de aplicaciones de ejes simples equivalentes de 18 kip (80 kN) hasta el tiempo t en el cual se alcanza $ISP = pt$
- SN = Número Estructural
- ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal
- MR = Módulo Resiliente de la Subrasante (libras/pulg²)
- S_o = Desviación Estándar total de la distribución normal de los errores asociados con las predicciones de tránsito y de comportamiento del pavimento (0.44-0.49)

- ZR = Parámetro estadístico asociado con distribuciones normales de datos, que considera la probabilidad de que el índice de servicio del pavimento sea superior a p_t durante el periodo de diseño.

Para definir el índice de serviciabilidad con el cual trabajara la Ecuación 1 se deben tener en cuenta las dos siguientes tablas que estandariza la AASHTO:

Tabla 2.

Serviciabilidad Inicial, P_o

TIPO DE PAVIMENTO	SERVICIABILIDAD INICIAL, P_o
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Tabla 3.

Serviciabilidad Final, P_t

TIPO DE VIA	SERVICIABILIDAD FINAL, P_t
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
Zonas Industriales	
Pavimento Urbano Principal	1.5 – 2.0
Pavimento Urbano Secundario	1.5 – 2.0

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

De igual manera, la Ecuación 1 contempla un S_o o desviación estándar total de la distribución normal de los errores del diseño como la variación de las propiedades de los materiales y de la subrasante, la estimación del tránsito, las condiciones climáticas y la calidad de la construcción tal como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Error normal combinado para pavimentos flexibles, S_o .

PROYECTO DE PAVIMENTO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR, S_o
Rango para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
Construcción Nueva	0.45
Sobrecapas	0.50

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Así mismo, el método AASTHO 93 dentro de su ecuación hace énfasis en un ZR el cual es un parámetro estadístico asociado con distribuciones normales de datos, que considera la probabilidad de que el índice de servicio del pavimento sea superior a p_t durante el periodo de diseño con lo cual se tiene que:

Tabla 5.

Niveles de confiabilidad sugeridos para varios tipos de carreteras

TIPO DE CARRETERA	NIVEL DE CONFIABILIDAD, ZR (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 – 99.9	80.0 – 99.9
Arterias Principales	80.0 – 99.0	75.0 – 95.0

Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

De esta manera, una vez determinado el número estructural requerido se busca un conjunto de espesores que combinados adecuadamente y teniendo en cuenta parámetros como los coeficientes estructurales y de drenajes garanticen un número estructural efectivo mayor o igual al requerido para soportar las solicitaciones de tránsito esperadas en el periodo de diseño. El número estructural efectivo se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Ecuación 2.

Cálculo de los espesores de la Estructura de Pavimentos.

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Donde:

- a_1, a_2, a_3 = Coeficientes estructurales de la capa asfáltica, base granular y subbase granular respectivamente (in).
- D_1, D_2, D_3 : Espesores de la capa asfáltica, base granular y subbase granular respectivamente (in).
- m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje para base granular y subbase granular respectivamente.

Para el coeficiente estructural de la capa asfáltica (a_1) es necesario recurrir a la ecuación mostrada a continuación la cual está en función de la temperatura ambiente:

$$a_1 = 0.7304 - 0.1271(\ln T \text{ } ^\circ\text{C aire})$$

Ecuación 3. Cálculo del coeficiente de capa (a_1)

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Seguidamente, se efectúa el cálculo del Módulo de Elasticidad de la Carpeta Asfáltica mediante la siguiente ecuación:

$$E_1 = e^{a_1 + 1.9547} / 0.184$$

Ecuación 4.

Cálculo de E_1

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Por otro lado, para el cálculo del coeficiente estructural de la base granular (a_2) se emplea la siguiente ecuación:

$$a_2 = 0.032CBR^{0.32}$$

Ecuación 5.

Cálculo del coeficiente de capa (a_2)

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Del mismo modo, se busca el Módulo de Elasticidad de la capa de base granular mediante la siguiente ecuación:

$$E_2 = 10^{a_2+0.977/0.249}$$

Ecuación 6.

Cálculo de E_2

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Así mismo, el coeficiente estructural de la subbase granular se determina a través de la siguiente ecuación:

$$a_3 = 0.058CBR^{0.19}$$

Ecuación 7.

Cálculo del coeficiente de capa (a_2)

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Siguiendo los parámetros anteriores, se calcula el Módulo de Elasticidad de la capa de subbase granular mediante la siguiente ecuación:

$$E_3 = 10^{a_3+0.839/0.227}$$

Ecuación 8.

Cálculo del coeficiente de capa (a_2)

Fuente: AASHTO guide for design of pavement structure, American Association of State and Highway Transportation Officials.

Por otra parte, para la obtención de los coeficientes de drenaje de la base y subbase granular respectivamente (m_2 , m_3) se emplean las posteriores recomendaciones:

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1 40-1 35	1 35-1 30	1 30-1 20	1 20
Good	1 35-1 25	1 25-1 15	1 15-1 00	1 00
Fair	1 25-1 15	1 15-1 05	1 00-0 80	0 80
Poor	1 15-1 05	1 05-0 80	0 80-0 60	0 60
Very poor	1 05-0 95	0 95-0 75	0 75-0 40	0 40

Figura 1. Valores recomendados de coeficientes de drenaje (m_i).

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. P. II – 25.

Una vez definidos los parámetros anteriores, se calculan los espesores para cada capa de la estructura de pavimentos mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1 \geq SN_1$$

$$D_2 \geq \frac{SN_{CA+B} - SN_1^*}{a_2 * m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2 \geq SN_{CA+B}$$

$$D_3 * a_3 * m_3 + SN_1^* + SN_{CA+B} \geq SN_3$$

Ecuación 9.

Paso a paso para el cálculo de los espesores de la estructura de pavimentos.

Fuente: Carlos Higuera Sandoval, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras.

Volumen II.

Donde:

- a, D, m y SN corresponden a los valores mínimos requeridos.
- El asterisco en D o SN corresponde al valor realmente usado el cual debe ser mayor al requerido.

5.2.4. Determinación del CBR de Diseño

5.2.4.1. Instituto del Asfalto

El Instituto del Asfalto recomienda tomar un valor tal que el 60, 75 y 87.5% de los valores individuales de CBR sea igual o mayores que él, dependiendo del tráfico que se espera que circule por el pavimento, tal como se muestra en la figura 4:

Tabla 6.

Percentiles para determinar el CBR de diseño de acuerdo con el Criterio del Instituto del Asfalto.

NUMERO DE EJES DE 8.2 TONELADAS EN EL CARRIL DE DISEÑO	PERCENTIL A SELECCIONAR PARA DETERMINAR EL CBR DE DISEÑO
$\leq 10^4$	60.0
$10^4 - 10^6$	75.0
$\geq 10^6$	87.5

Fuente: Instituto del Asfalto. Thickness design – Asphalt pavements for highways and streets Manual Series No 1.

Novena edición (Revisión). Lexington, 2006. P. 26.

De acuerdo con el tránsito y establecidos los CBR para cada tramo en estudio, se ordenan estos de menor a mayor obteniendo un porcentaje de valores mayores o iguales que cada uno. Luego se grafican los valores de CBR contra los porcentajes obtenidos, para así, determinar el CBR de diseño con respecto al percentil elegido.

5.2.4.2. Criterio de la Media

El Criterio de la Media evalúa un valor en el cual la mitad de los valores quedan por debajo y la mitad por arriba del valor calculado. De este modo, al valor seleccionado se le disminuye un

parámetro Z veces la desviación estándar el cual depende del nivel de confianza con que se realice el diseño.

Tabla 7.

Desviación normal estándar para diferentes niveles de confianza.

NIVEL DE CONFIANZA (NC %)	DESVIACION NORMAL ESTÁNDAR (Z)
50	0.00
85	1.00
90	1.282
95	1.645
98	2.054

Fuente: Carlos Higuera Sandoval, *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*.

Volumen I, p. 197.

El CBR de diseño se determina con la siguiente expresión:

$$CBR_{diseño} = \overline{CBR} - (Z * \sigma)$$

Ecuación 10.

CBR de diseño Instituto del Asfalto.

Fuente: Carlos Higuera Sandoval, *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*.

Volumen I, p. 197.

Donde:

\overline{CBR} = Valor medio de los valores de CBR (%)

Z = Desviación Normal Estándar

σ = Desviación estándar de los valores de CBR

5.2.4.3. Promedio Aritmético

El promedio aritmético agrupa cada uno de los valores de CBR dados para cada tramo en estudio y los divide por el total de datos agrupados. De esta manera, se obtiene un número medio que sería el CBR de diseño.

5.2.5. Coeficiente de Variación

Es común que dentro de los cálculos del promedio aritmético se encuentren errores al no considerar la dispersión de los datos agrupados. Para esto, se utiliza un Coeficiente de Variación el cual es un indicador que muestra cuan confiables son las estimaciones de las variables investigadas, del cual, dado un nivel de significancia estadístico, se calcula el intervalo de confianza para el valor obtenido.

$$\phi(\%) = \frac{CBR_{diseño}}{\sigma} * 100$$

Ecuación 11.

Cálculo del Coeficiente de Variación.

Fuente: EHPM, Coeficientes de Variación e Intervalos de Confianza. 2005.

Donde:

$\phi(\%)$ = Coeficiente de Variación

σ = Desviación Estándar

Así, se determina que el coeficiente de variación está sujeto a los siguientes rangos de precisión:

Hasta 10% = Buena

De 11% a 20% = Aceptable

Más de 20% = No confiable.

5.2.6. Módulo de Resiliencia

El módulo de resiliencia caracteriza el comportamiento a deformación elástica de suelos. En un ensayo triaxial de carga repetida a presión de confinamiento constante, es la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación elástica unitaria axial.

De esta manera, el módulo resiliente para este proyecto fue calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$MR = 130 * (CBR_{diseño})^{1/1.4} / 0.07$$

Ecuación 12.

Cálculo del Módulo Resiliente.

Fuente: National Cooperative Highway Research Program.

Donde:

Mr = Modulo Resiliente, en PSI (Libras por pulgadas cuadradas)

5.2.7. Metodología Racional para el diseño de Pavimentos Flexibles

A diferencia de los métodos empíricos, la metodología racional tiene en cuenta como el estado de esfuerzo y deformación que experimentan las capas que conforman la estructura del pavimento influyen en el comportamiento de este. Para el cálculo de esfuerzos y deformaciones, emplean programas de computador disponibles desde la década de los 60's. En estos programas se introducen la carga, la presión de contacto, las propiedades mecánicas de los materiales (por

lo general el módulo elástico y la relación de Poisson) y el espesor de las capas del pavimento con el fin de obtener los estados de esfuerzo y deformación. Una vez calculados estos estados, se comparan con aquellos que admite el pavimento para la vida útil proyectada, y en un procedimiento de ensayo y error (aumentando o disminuyendo por lo general los espesores de capas) se dimensionan las capas que conformarán la estructura de pavimento.

Algunos de los programas son: ALIZE (LCPC, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), ELSYM5 (Chevron Oil), BISAR (SHELL), KENLAYER (University of Kentucky) y DEPAV (Universidad del Cauca). Los valores admisibles de deformación a tracción y vertical en la base de la capa asfáltica y en la superficie de la subrasante respectivamente, se obtienen por medio de diversas ecuaciones desarrolladas en instituciones de investigación como AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y TAI (The Asphalt Institute).

A pesar de ser una metodología diferente a las empíricas, presentan connotaciones similares. Por ejemplo, el criterio de diseño en la metodología racional es el mismo, el pavimento falla por acumulación de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica debido a ciclos de carga (fatiga) y por exceso de deformación vertical en la superficie de la capa de subrasante (es decir, no tienen en cuenta el efecto que puede tener la acumulación de la deformación en las capas de base y subbase granulares no tratadas).

5.2.8. Metodología Shell 1978

El método Shell de 1978 considera la estructura del pavimento como un sistema multicapa linealmente elástico bajo la acción de las cargas del tránsito. Los materiales de la estructura están caracterizados por su módulo de elasticidad de Young (E) y su relación de Poisson (μ); estos

materiales se consideran homogéneos, isotrópicos y linealmente elásticos, y las capas de la estructura del pavimento se consideran horizontales y de extensión infinita. El método calcula, mediante un sistema de cómputo, los esfuerzos, las deformaciones y las deflexiones y sus magnitudes máximas, producidas en cualquier parte de la estructura.

Los criterios fundamentales para el diseño estructural de un pavimento flexible son los siguientes:

- La deformación horizontal de tracción en la capa asfáltica, generalmente en la parte inferior; si esta es excesiva, se producirá el agrietamiento de la capa.
- La deformación vertical de compresión en la subrasante; si esta es excesiva se producirá una deformación permanente en la subrasante, y esto causará la deformación en la superficie del pavimento.
- Otro criterio incluye los esfuerzos y las deformaciones de tracción permisibles en cualquier base cementada y la deformación permanente acumulada en la superficie de pavimento debido a las deformaciones en cada una de las capas.

Con base en estos criterios la Shell diseñó un sistema de cartas, seleccionando combinaciones de espesores de capas asfálticas y capas de base, teniendo en cuenta módulos de la subrasante, tipo de mezcla asfáltica, temperatura anual ponderada del aire y el número de aplicaciones de carga de ejes estándar de diseño esperados durante la vida de diseño del pavimento, para que las deformaciones críticas no excedan los valores permisibles para los diferentes materiales. Dependiendo de los materiales usados y las condiciones que prevalecerán, la subrasante o la deformación del asfalto podrían ser el criterio decisivo.

El método Shell permite elegir una combinación de espesores y características de los materiales de las diversas capas del pavimento, de modo que la magnitud de las deformaciones permanezca dentro de los límites admisibles durante el periodo de diseño del pavimento.

Así, la ley de fatiga de la Shell se expresa mediante la ecuación la cual determina la deformación radial admisible de tracción de la capa asfáltica (ϵ_t):

$$\epsilon_t = (0,856V_b + 1,08) * S_{mix}^{-0,36} * N_{lab}^{-0,20}$$

Ecuación 13.

Cálculo de la deformación admisible de tracción de la capa asfáltica.

Fuente: Carlos Higuera Sandoval, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Volumen I. p.32.

Donde:

ϵ_t = Deformación de tracción admisible de la capa asfáltica

V_b = Porcentaje en volumen del asfalto en la mezcla

S_{mix} = Modulo dinámico de la mezcla asfáltica en N/m²

N_{lab} = Transito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8,2 toneladas

El criterio de la deformación de compresión (ϵ_z), el cual se mide sobre la subrasante está en función del nivel de confiabilidad, y sus expresiones de cálculo se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 8.

Deformación Admisible Criterio de la Shell

NIVEL DE CONFIANZA	ECUACIÓN
50%	$\varepsilon_z = 2.80 \times 10^{-2} * N^{-0.25}$
85%	$\varepsilon_z = 2.10 \times 10^{-2} * N^{-0.25}$
95%	$\varepsilon_z = 1.80 \times 10^{-2} * N^{-0.25}$

Fuente: Carlos Higuera Sandoval, *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Volumen II.*

5.2.9. Bisar 3.0 (Bitumen Stress Analysis in Roads)

El programa Bisar 3.0 fue desarrollado a comienzos de los años setenta del siglo pasado por la Compañía Shell, para dibujar las cartas de diseño del Manual de Diseño de Pavimentos publicado en 1978. El programa está diseñado para el uso bajo Windows y contiene herramientas para el cálculo de esfuerzos, deformaciones, deflexiones presentes en una estructura de pavimento. Además, puede tratar fuerzas horizontales presentes en la superficie, desplazamientos entre las capas de pavimento y brinda opciones para ingresar con facilidad distintas configuraciones de ruedas y seleccionar automáticamente posiciones importantes en una capa determinada de la estructura de pavimento.

6. Metodología

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de las diferentes metodologías existentes en el país para el diseño de pavimentos flexibles con el fin de sentar bases que permitan escoger el mejor método de diseño, teniendo en cuenta variables como el CBR, el tránsito, el número de ejes, las condiciones ambientales, entre otras.

A nivel metodológico dicha investigación se sustenta en dos contextos: uno conceptual y otro experimental. El primer contexto será la base fundamental dentro el desarrollo del estado de arte de la investigación, pieza principal para conocer los parámetros de estudio del proyecto. En

el segundo contexto, se presentará todo el análisis de los métodos de cálculo de las estructuras de pavimentos, que al final, permitirá establecer las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

El desarrollo de este proyecto será dividido en un total de seis (6) fases, que se describen detalladamente a continuación:

Fase 1: Construcción del Estado del arte

Esta fase consistirá en la recolección bibliográfica a partir de diferentes fuentes de información confiables, que hagan referencia o traten acerca de los temas aquí aplicados.

También se tendrán en cuenta páginas o sitios web que faciliten más información. Dentro de las fuentes de recolección de información, se tiene previsto la consulta en:

- a) Manuales de diseños de pavimentos
- b) Libros y Revistas
- c) Guía metodológica AASHTO 93.
- d) Norma Invias 2013.
- e) Trabajos de grado similares

Fase 2: Identificación del proyecto

En esta segunda fase se escogerá la vía objeto de estudio y posteriormente se consultará toda la información relacionada con el proyecto. Así, en esta fase se obtiene para el proyecto: descripción, especificaciones, estudios geotécnicos, etc.

Fase 3: Determinación de los tramos homogéneos

En esta fase se estimarán los tramos homogéneos para los 5 trechos viales principales de la vía, a través del método de las diferencias acumuladas estipulada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Fase 4: Evaluación de los CBR de diseño

Esta fase comprenderá la determinación de los CBR de diseño mediante los criterios del Instituto del Asfalto, la Media y el Promedio Aritmético para cada tramo homogéneo estipulado.

Fase 5: Diseños de espesores de las Estructuras de Pavimentos y chequeo de deformaciones

Para esta fase se calcularán los espesores de las estructuras de pavimento para cada tramo homogéneo especificado de acuerdo a la metodología de la ASSTHO 93 y establecidos anteriormente.

Fase 6: Análisis Comparativo

Finalmente, en esta fase, se realizarán las comparaciones de la variabilidad entre cada criterio metodológico para la evaluación del CBR de diseño y los espesores de cada capa de la estructura de pavimentos.

7. Desarrollo del Proyecto

Conforme a la metodología propuesta en el anterior ítem, se procedió con base a las fases descritas anteriormente. Para ello, se tiene que en la:

Fase 1. Construcción del Estado de Arte

Inicialmente se consultó en manuales de pavimentos, tesis y proyectos de grados que abarcaban la misma temática, libros del área, entre otras fuentes bibliográficas, que permitió la redacción del marco conceptual de este trabajo plasmado en el ítem número 5.

Fase 2. Identificación del Proyecto

Durante años, el conflicto con los grupos armados ilegales como las FARC le quitaron a Colombia más que las vidas perdidas, el desarrollo en la educación, en la salud, en la infraestructura del país, esto debido a que, gran parte del presupuesto estaba destinado para el sostenimiento y adecuación de las fuerzas públicas que custodiaban al territorio.

Sin embargo, en el 2016 el gobierno colombiano llegó a un acuerdo con las FARC el cual marcó la historia de Colombia y con eso, se produjeron nuevas ideas para restaurar todo el daño que este grupo ilegal provocó. Una de las iniciativas que tomó el gobierno fue la reconstrucción y pavimentación de las vías que este tomó para su desenvolvimiento en las áreas donde se concentraban. De esta forma, ahora dichas vías servirán para mejorar el flujo vehicular, ampliar la zona de comercio y otras actividades que le ayuden al país a mejorar su calidad de vida en los próximos años.

Para la realización de este proyecto se tomó a consideración una vía destacada como “Zona de Paz” del Departamento de Bolívar (Colombia), con el fin de entregar la mejor estructura de pavimentos evaluando cada una de las metodologías descritas anteriormente.

De esta vía sin pavimentar pertenecen 5 trechos viales principales los cuales son:

- I. Vía Punta de Plancha (Transversal Montes de María) - Caracolicito - Raizal - Santa Lucia - Bajo Grande - El Hobo en Bolivar a Salitral en Sucre.
- II. Vía San Jacinto - Arenas - Charquita - San Isidro - Las Cruces (Arroyo de Arena).
- III. Vía Ramal El Bledo – Arenas.
- IV. Vía Transversal Montes De María km 28 a Macayepo.
- V. Vía Troncal (Nueva Esperanza) San José del Playón - Santo Domingo de Mesa – Macayepo.

En las siguientes figuras se muestra satelitalmente la ubicación del proyecto segmentada por los tramos señalados anteriormente.

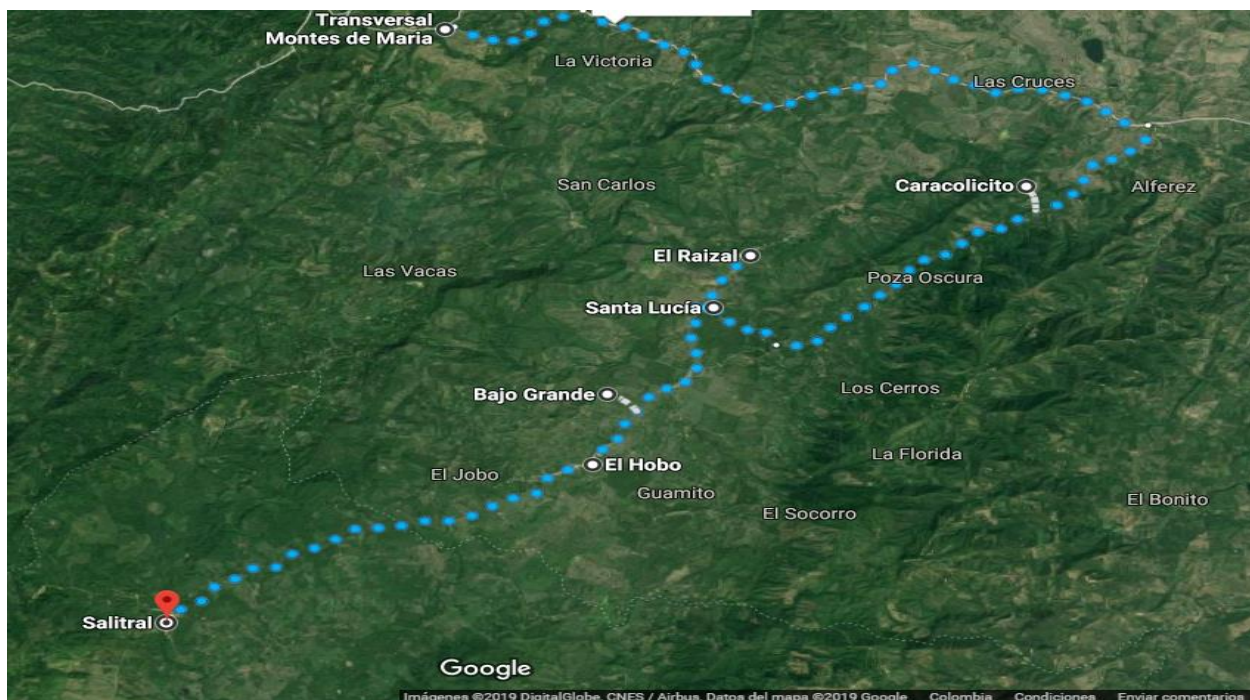


Figura 2. Tramo I.

Fuente: Google Maps



Figura 3. Tramo II.

Fuente: Google Maps.

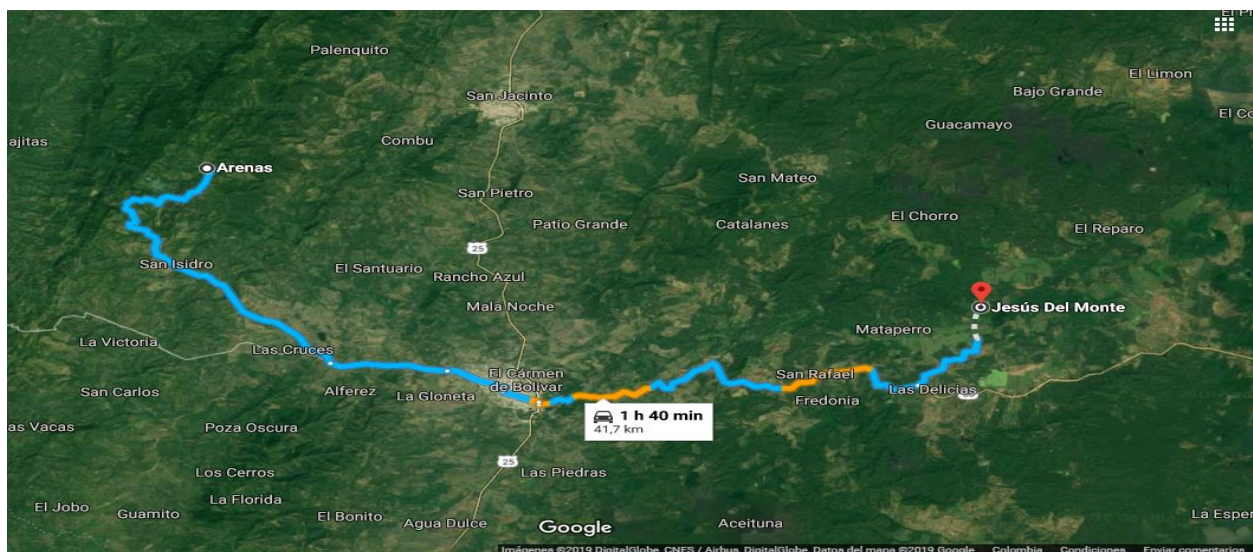


Figura 4. Tramo III.

Fuente: Google Maps.

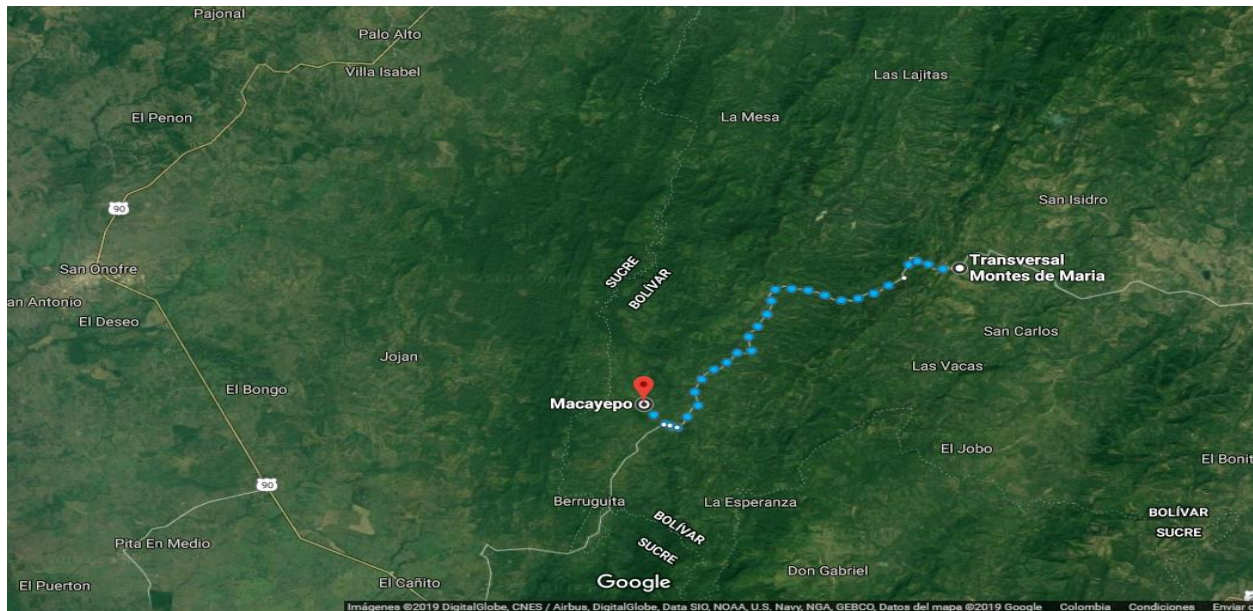


Figura 5. Tramo IV.

Fuente: Google Maps.

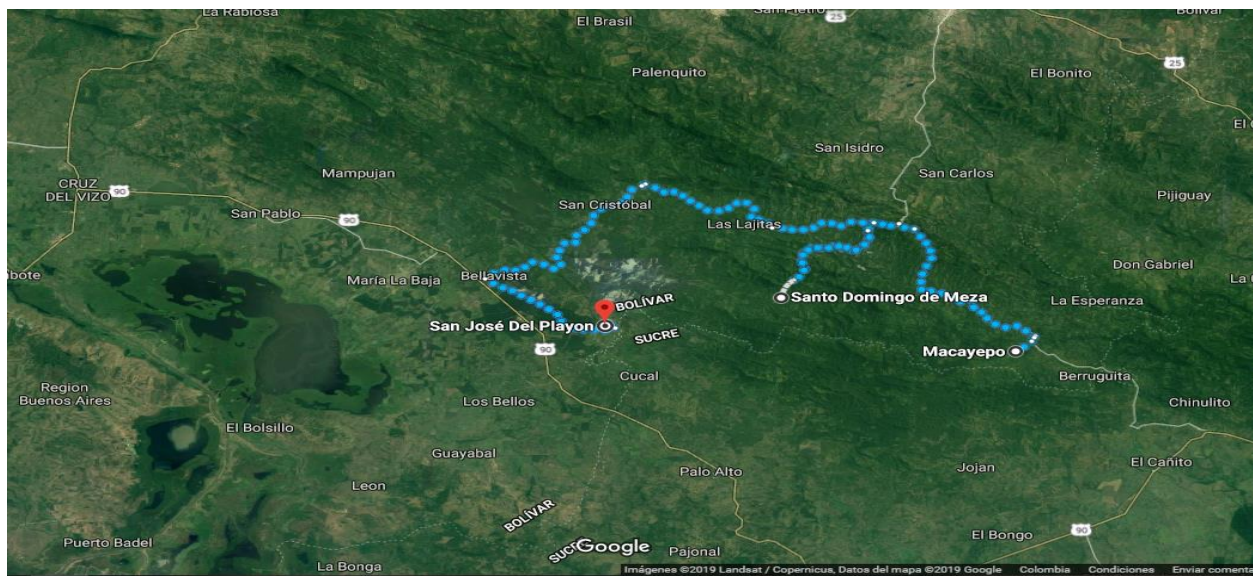


Figura 6. Tramo V.

Fuente: Google Maps.

Fase 3. Determinación de los tramos homogéneos

Como primera medida, se realizó una identificación de tramos homogéneos con el fin de obtener de manera objetiva las unidades de diseño correctas estadísticamente. Este proceso, se llevó a cabo a través del método de las diferencias acumuladas para la obtención de unidades homogéneas puntualizado por el Instituto Nacional de Vías el cual incluye una variable Z_x como medida estadística y el cual se puede evidenciar en el ítem 5.2.1 del marco conceptual. (INV E - 821, 2013).

Así, se tiene que, para el trecho vial en estudio, el cálculo de Z_x está dado por:

Tabla 9.

Cálculo de la variable estadística Z_x .

ABS	KM	n	$\Delta x_i (m)$	$\sum \Delta x_i (m)$	CBR (%)	$\overline{CBR}(\%)$	$a_i (m)$	$\sum a_i (m)$	Z_x
KM 1 + 000	1000	1	0	0	15	0	0	0	0,00
KM 1 + 500	1500	2	500	500	16,2	15,6	7800	7800	-269,18
KM 2 + 000	2000	3	500	1000	13	14,6	7300	15100	-1038,36
KM 2 + 500	2500	4	500	1500	13,8	13,4	6700	21800	-2407,53
KM 3 + 500	3500	5	1000	2500	17,5	15,65	15650	37450	-2895,89
KM 4 + 000	4000	6	500	3000	12,5	15	7500	44950	-3465,07
KM 4 + 500	4500	7	500	3500	13,7	13,1	6550	51500	-4984,25
KM 5 +000	5000	8	500	4000	5,3	9,5	4750	56250	-8303,42
KM 5 +500	5500	9	500	4500	5,7	5,5	2750	59000	-13622,60
KM 6 +000	6000	10	500	5000	27	16,35	8175	67175	-13516,78
KM 6 +500	6500	11	500	5500	25	26	13000	80175	-8585,96
KM 7 +000	7000	12	500	6000	22	23,5	11750	91925	-4905,14
KM 7 +500	7500	13	500	6500	24	23	11500	103425	-1474,32
KM 8 +000	8000	14	500	7000	14,5	19,25	9625	113050	81,51
KM 9 +000	9000	15	1000	8000	12,2	13,35	13350	126400	-2706,85
KM 9 +500	9500	16	500	8500	13,9	13,05	6525	132925	-4251,03
KM10 +000	10000	17	500	9000	10,2	12,05	6025	138950	-6295,21
KM10 +500	10500	18	500	9500	15,7	12,95	6475	145425	-7889,38

KM11 +000	11000	19	500	10000	20	17,85	8925	154350	-7033,56
KM 11 + 500	11500	20	500	10500	21	20,5	10250	164600	-4852,74
KM 12 + 000	12000	21	500	11000	12	16,5	8250	172850	-4671,92
KM 12 + 500	12500	22	500	11500	13,7	12,85	6425	179275	-6316,10
KM 13 + 000	13000	23	500	12000	19	16,35	8175	187450	-6210,27
KM 13 + 500	13500	24	500	12500	19	19	9500	196950	-4779,45
KM 14 + 000	14000	25	500	13000	13	16	8000	204950	-4848,63
KM 14 + 500	14500	26	500	13500	12,7	12,85	6425	211375	-6492,81
KM 15 + 000	15000	27	500	14000	15,2	13,95	6975	218350	-7586,99
KM 15 + 500	15500	28	500	14500	16,5	15,85	7925	226275	-7731,16
KM 16 + 000	16000	29	500	15000	11,9	14,2	7100	233375	-8700,34
KM 16 + 500	16500	30	500	15500	16,5	14,2	7100	240475	-9669,52
KM 17 + 000	17000	31	500	16000	15,7	16,1	8050	248525	-9688,70
KM 17 + 500	17500	32	500	16500	15,2	15,45	7725	256250	-10032,88
KM 18 + 000	18000	33	500	17000	16,5	15,85	7925	264175	-10177,05
KM 18 + 500	18500	34	500	17500	14,9	15,7	7850	272025	-10396,23
KM 19 + 000	19000	35	500	18000	16	15,45	7725	279750	-10740,41
KM 19 + 500	19500	36	500	18500	15	15,5	7750	287500	-11059,59
KM 20 + 000	20000	37	500	19000	17	16	8000	295500	-11128,77
KM 20 + 500	20500	38	500	19500	17	17	8500	304000	-10697,95
KM 21 + 000	21000	39	500	20000	9,5	13,25	6625	310625	-12142,12
KM 21 + 500	21500	40	500	20500	11,2	10,35	5175	315800	-15036,30
KM 22 + 000	22000	41	500	21000	10,3	10,75	5375	321175	-17730,48
KM 22 + 500	22500	42	500	21500	9,9	10,1	5050	326225	-20749,66
KM 23 + 000	23000	43	500	22000	24	16,95	8475	334700	-20343,84
KM 23 + 500	23500	44	500	22500	24,9	24,45	12225	346925	-16188,01
KM 24 + 000	24000	45	500	23000	13,5	19,2	9600	356525	-14657,19
KM 24 + 500	24500	46	500	23500	13,5	13,5	6750	363275	-15976,37
KM 25 + 000	25000	47	500	24000	17,5	15,5	7750	371025	-16295,55
KM 25 + 500	25500	48	500	24500	17,2	17,35	8675	379700	-15689,73
KM 26 + 000	26000	49	500	25000	16,8	17	8500	388200	-15258,90
KM 26 + 500	26500	50	500	25500	16	16,4	8200	396400	-15128,08
KM 27 + 000	27000	51	500	26000	16,7	16,35	8175	404575	-15022,26
KM 27 + 500	27500	52	500	26500	16	16,35	8175	412750	-14916,44
KM 28 + 000	28000	53	500	27000	12,5	14,25	7125	419875	-15860,62
KM 28 + 500	28500	54	500	27500	12,5	12,5	6250	426125	-17679,79
KM 29 + 000	29000	55	500	28000	14	13,25	6625	432750	-19123,97
KM 29 + 500	29500	56	500	28500	16,5	15,25	7625	440375	-19568,15
KM 30 + 000	30000	57	500	29000	13,8	15,15	7575	447950	-20062,33

KM 30 + 500	30500	58	500	29500	14,5	14,15	7075	455025	-21056,51
KM 31 + 000	31000	59	500	30000	13	13,75	6875	461900	-22250,68
KM 31 + 500	31500	60	500	30500	12,5	12,75	6375	468275	-23944,86
KM 32 + 000	32000	61	500	31000	14,8	13,65	6825	475100	-25189,04
KM 32 + 500	32500	62	500	31500	16,5	15,65	7825	482925	-25433,22
KM 33 + 000	33000	63	500	32000	16,9	16,7	8350	491275	-25152,40
KM 33 + 500	33500	64	500	32500	19,1	18	9000	500275	-24221,58
KM 34 + 000	34000	65	500	33000	20	19,55	9775	510050	-22515,75
KM 34 + 500	34500	66	500	33500	17,5	18,75	9375	519425	-21209,93
KM 35 + 000	35000	67	500	34000	21,5	19,5	9750	529175	-19529,11
KM 35 + 500	35500	68	500	34500	24,8	23,15	11575	540750	-16023,29
KM 36 + 000	36000	69	500	35000	28,8	26,8	13400	554150	-10692,47
KM 36 + 500	36500	70	500	35500	26	27,4	13700	567850	-5061,64
KM 37 + 000	37000	71	500	36000	19,5	22,75	11375	579225	-1755,82
KM 37 + 500	37500	72	500	36500	19,8	19,65	9825	589050	0,00
F=				16,1					

Fuente: elaboración propia.

Donde:

- KM = Estación
- ABS = Abscisa
- n = Numero de intervalos
- Δx_i = Distancia del intervalo
- $\sum \Delta x_i$ = Distancia acumulada por intervalo
- a_i = Área del intervalo
- $\sum a_i$ = Área de intervalo acumulada
- $F = \sum \Delta x_i / \sum a_i$
- $Z_x = \sum a_i - F * \sum \Delta x_i$

De esta manera, se arrojó un total de 10 tramos homogéneos para el trecho vial en estudio lo cual se identifica en la siguiente gráfica:

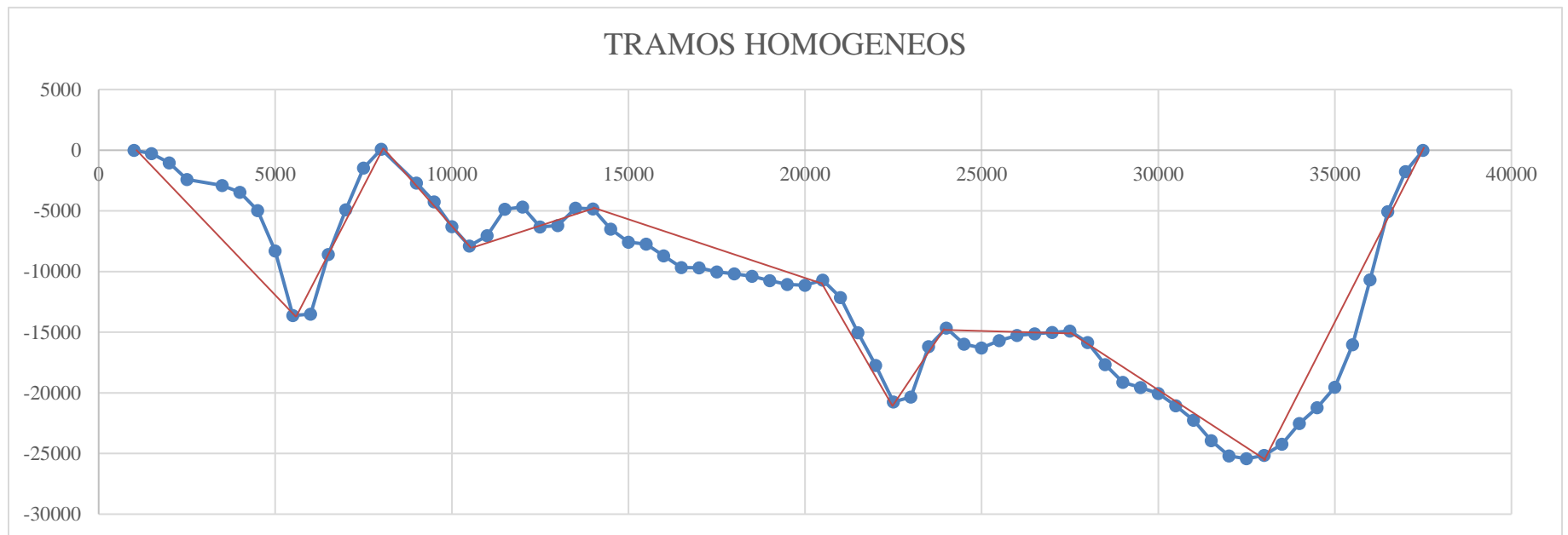


Figura 7. Selección de los tramos homogéneos del trecho vial en estudio. Fuente: Elaboración propia.

Fase 4. Evaluación de los CBR de diseño.

Luego de la construcción del gráfico se seleccionaron 10 tramos homogéneos, para los cuales se calculó el CBR de diseño a partir de 3 métodos, El método del instituto del asfalto, El Promedio aritmético y el criterio de la media, posteriormente se realizaron comparaciones entre ellos, tal como será mostrado en este desarrollo. Es importante resaltar que para fines ilustrativos del documento solo se mostrará el paso a paso realizado en el tramo homogéneo 5 del último trecho vial en estudio, tomando en consideración que este es uno de los más representativos del estudio.

Cálculo del CBR de diseño a través del método del Instituto del Asfalto

Para el método del instituto del asfalto se tomaron los valores de CBR correspondientes a cada tramo homogéneo y se organizaron a través de intervalos, para luego ser ordenados de menor a mayor valor y ponderar el número de CBR mayores o iguales al intervalo en estudios, tal como se ilustra en la *Tabla 10*.

Tabla 10.

%CBR mayores o iguales para tramo homogéneo 5.

TRAMO 5			
NUMERO DE INTERVALO	CBR (%)	NUMERO DE VALORES IGUALES O MAYORES	%DE VALORES IGUALES O MAYORES
25	11.9	14	100
26	12.7	13	93
27	13	12	86
28	14.9	11	79
29	15	10	71
30	15.2	9	64
31	15.2	8	57
32	15.7	7	50

33	16	6	43
34	16.5	5	36
35	16.5	4	29
36	16.5	3	21
37	17	2	14
38	17	1	7

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento descrito en la Tabla 10 se repitió para cada uno de los tramos homogéneos del trecho vial en estudio, y serán encontrados en la tabla de anexos del documento.

Una vez obtenido el porcentaje de valores de CBR mayores o iguales por intervalo de cada tramo homogéneo, se tomó en cuenta lo descrito por el método y se seleccionaron los percentiles tal, que el 60, el 70 o el 85,7% de los valores individuales de CBR sea igual o mayor que éste, de acuerdo con el tránsito de diseño, según lo explica la Tabla 6 del marco conceptual.

En este caso de estudio, se realizarán diseños de pavimento suponiendo que circularán tránsitos de 500.000, de 1.000.000, de 1.500.000 y de 2.000.000 de ejes. Por tanto, teniendo en cuenta el número de ejes, el %CBR a través de este método, será calculado para los percentiles de 75 y el de 85.7% respectivamente.

El procedimiento para seleccionar los %CBR correspondiente a los percentiles de diseño fue realizado gráficamente tal como se muestra en la figura:

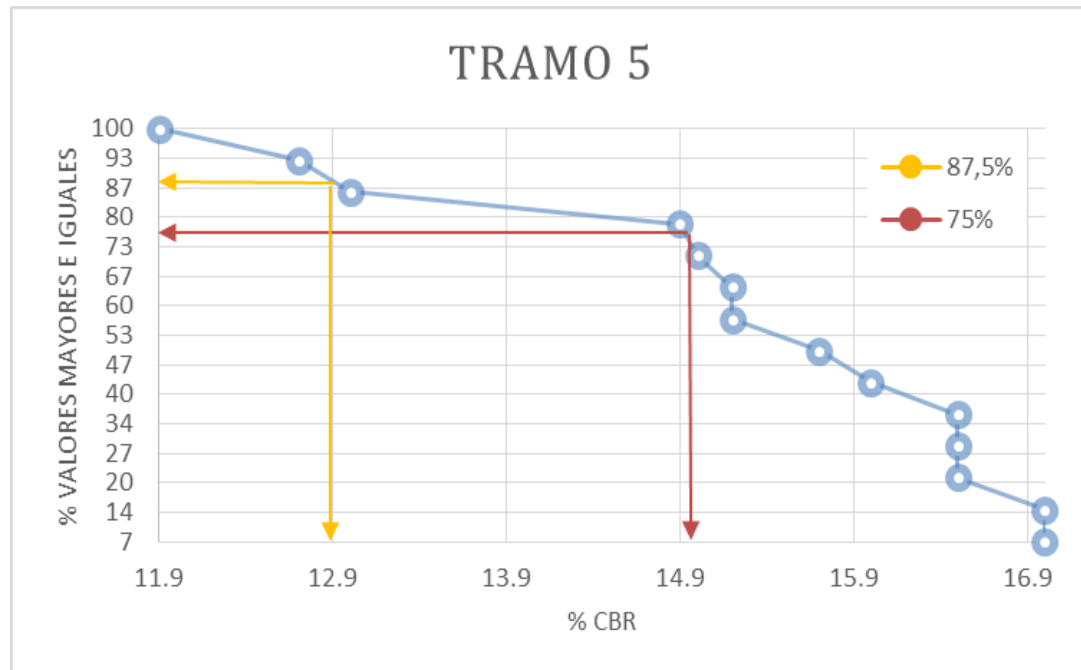


Figura 8. Selección del %CBR a partir de los percentiles de 75 y 87,5% para el criterio del Instituto del Asfalto.
Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento descrito en la Figura 8 se repitió para cada uno de los tramos homogéneos del trecho vial en estudio, y serán encontrados en la tabla de anexos del documento.

De los percentiles seleccionados a partir del gráfico se obtuvieron los %CBR de diseño para cada tramo homogéneo según el número de ejes, tal como lo registran las Tabla 11 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** respectivamente.

Tabla 11.

%CBR de diseño para tránsitos de 500.000 ejes a través del IA.

10⁴ a 10⁶ DE EJES	
PERCENTIL	75%
	CBR DISEÑO (%)
TRAMO 1	12,6
TRAMO 2	18,3
TRAMO 3	12,6
TRAMO 4	13,5
TRAMO 5	15,0
TRAMO 6	10,0
TRAMO 7	13,5
TRAMO 8	16,0
TRAMO 9	13,0
TRAMO 10	19,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12.

%CBR de diseño para tránsitos de 500.000 ejes a través del IA.

10⁶ DE EJES	
PERCENTIL	87,5%
	CBR DISEÑO (%)
TRAMO 1	6,6
TRAMO 2	12,3
TRAMO 3	11,5
TRAMO 4	13,0
TRAMO 5	12,9
TRAMO 6	9,8
TRAMO 7	11,7
TRAMO 8	13,5
TRAMO 9	12,5
TRAMO 10	17,9

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de CBR de Diseño a través del Criterio del Promedio Aritmético.

Este fue el método más sencillo de todos, consistió en calcular el promedio aritmético de todos los %CBR pertenecientes al tramo homogéneo respectivo, para finalmente determinar el CBR de diseño.

Cabe resaltar que, los valores de CBR del trecho vial en estudio fueron obtenidos a partir de una experimentación in situ, y que a su vez representan un espacio muestral, debido que cada 500 metros a lo largo del tramo fue recolectado un valor de CBR.

Estos valores están sujetos a un error muestral, en este caso, debido a la dispersión o variabilidad de los ensayos, dado que la muestra es una de las muchas muestras posibles que pudo haberse seleccionado del marco muestral. Por ejemplo, si se hubiera seleccionado una distancia diferente para realizar las pruebas In situ, o posiblemente si no se hubieran seleccionado tramos homogéneos, la muestra sería completamente diferentes.

Para determinar cuan confiables son los valores de CBR obtenidos a partir de los ensayos se realizó el cálculo del coeficiente de variación por cada tramo homogéneo seleccionado, considerándose que, aquellos tramos donde el coeficiente de variación sea mayor al 20% no se consideran adecuados para ser seleccionados como CBR de diseño, por lo que, se recomendaría seleccionar otro criterio de diseño. Lo descrito anteriormente se registra en el ítem 5.2.4 del marco conceptual de este documento.

En la siguiente tabla se aprecia el %CBR obtenido a través de esta metodología para el tramo representativo:

Tabla 13.

%CBR de diseño y Coeficiente de variación a partir del criterio del promedio aritmético.

TRAMO 5		
NUMERO DE INTERVALO	CBR (%)	CBR DE DISEÑO (%)
25	11.9	15.2
26	12.7	
27	13	
28	14.9	
29	15	
30	15.2	
31	15.2	
32	15.7	
33	16	
34	16.5	
35	16.5	
36	16.5	
37	17	
38	17	
TOTAL	213.1	
DESVIACIÓN ESTANDAR		1.6
COEFICIENTE DE VARIACIÓN		10.7

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento descrito en la Tabla 13 se repitió para cada uno de los tramos homogéneos del trecho vial en estudio, y serán encontrados en la tabla de anexos del documento.

Cálculo de CBR de Diseño a través del Criterio de la Media

Determinar el %CBR de la unidad de diseño a través de este método consiste en encontrar en el tramo en estudio el valor promedio de CBR, a este valor se le reduce Z veces la desviación estándar del conjunto de datos y se debe tener en cuenta el nivel de confianza en el que será realizado el diseño, la desviación normal estándar Z dependerá de lo establecido en la Tabla 7 del marco conceptual.

El nivel de confianza seleccionado para el diseño fue del 80%, como no se encuentra ubicado en la tabla, se realizó una interpolación y fue encontrado el respectivo valor, para efectos del cálculo del CBR de diseño, solo se tuvo en cuenta el tramo homogéneo 5, en el cual se tomaron los %CBR, se promediaron, y se halló la desviación estándar de los datos tal como se registra en la Tabla 14.

Tabla 14.

%CBR promedio y desviación estándar para el método del criterio de la media

TRAMO 5	
NUMERO DE INTERVALO	CBR (%)
25	11.9
26	12.7
27	13
28	14.9
29	15
30	15.2
31	15.2
32	15.7
33	16
34	16.5
35	16.5
36	16.5
37	17
38	17
TOTAL	213.1
PROMEDIO	15.2
DESVIACION	1.5

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los %CBR de diseño a partir de cada uno de los métodos se ordenaron los valores en la siguiente tabla con el fin de proceder al diseño:

Tabla 15.

%CBR de diseño para cada tramo homogéneo teniendo en cuenta las metodologías en estudio.

CRITERIO DE DISEÑO	%CBR DE DISEÑO									
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	12.6	18.3	12.6	13.5	15.0	10.0	13.5	16.0	13.0	19.3
INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	6.6	12.3	11.5	13.0	12.9	9.8	11.7	13.5	12.5	17.9
MEDIA ARITMETICA	12.5	19.2	13.3	13.6	15.2	11.6	18.1	15.9	14.5	21.4
CRITERIO DE LA MEDIA	9.2	12.7	11.7	12.5	13.9	9.3	12.8	14.7	13.1	18.4

Fuente: Elaboración Propia.

Fase 5: Diseño de espesores de las estructuras de pavimento y chequeo de deformaciones

Teniendo en cuenta los valores de CBR determinados por cada metodología, se realizó el cálculo de las estructuras de pavimento para cada tramo homogéneo, según lo establecido por la metodología ASSTHO 93. Tomando en consideración para el estudio 500.000, 1.000.000, 1.500.000 y 2.000.000 de ejes sencillos equivalentes de 8,2 toneladas respectivamente. De esta forma, se realizaron varios diseños de pavimentos en el que se incluyen los 10 tramos homogéneos del trecho vial analizado. Para efectos de la explicación del procedimiento, solo se reproducirá el paso a paso realizado con el primer tramo homogéneo, tal como se describirá a continuación.

Para cada valor de %CBR según la metodología implementada, se calculó el módulo resiliente de la subrasante de acuerdo con la Ecuación 12 del marco conceptual. Así, mismo, se determinó el módulo correspondiente a las capas granulares de la estructura, asumiendo que la subbase y la base granular poseen %CBR de 30% y 80% respectivamente.

El módulo resiliente de cada una de las capas, es uno de los parámetros más importantes a la hora de determinar el SN (número estructural) de la estructura total de pavimento, ya que este representa la capacidad que tendrá el conjunto para absorber los esfuerzos producidos por el tránsito en los ciclos de carga y descarga, dicho esto, se evidencia otra variable que influye al determinar el SN, el tránsito de diseño, este mismo va ligado a un error combinado por la previsión de su comportamiento durante el periodo de servicio.

Así pues, antes de proceder al cálculo del número estructural para cada diseño fue necesario asignar un valor estándar a cada uno de los parámetros que influirán sobre este según

lo dispuesto en la Ecuación 1 del marco conceptual dentro de los cuales se pueden evidenciar en la tabla a continuación:

Tabla 16.

Valores no variables en el cálculo del SN.

T (°C)	30
R	80%
Zr	0.841
So	0.45
Po	4.2
Pt	2

Fuente: Elaboración Propia.

Cabe aclarar que, para agilizar la elaboración de los diseños, se recurrió a un programa denominado ASSTHO 93, este a partir de métodos numéricos halla el número estructural de acuerdo con las variables introducidas como se muestra en la siguiente figura:

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 Reliability (R) ▼ So

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
☒ Calcular SN **W18 =**
☐ Calcular W18

Número Estructural
SN =

Calcular Salir

Figura 9. Ecuación AASHTO 93 en el cálculo del SN Fuente: Elaboración Propia.

Lo anterior se repitió para establecer el SN en cada una de las capas y a partir del número estructural calculado para el tránsito respectivo, se obtuvieron los espesores de los diseños. Partiendo del modelo estructural establecido por la metodología AASHTO 93 para pavimentos flexibles, donde las capas están definidas por su tipo, su espesor (d_i) y su coeficiente estructural (a_i) tal como se estableció en la Figura 9. Una vez determinado el coeficiente estructural y los respectivos coeficientes de drenaje de los estratos granulares según lo explicado en el marco conceptual se realizó el cálculo de los espesores reales de las capas y la dimensión total de las estructuras de pavimento, tal como se muestra a continuación, resaltando que, se mostrará solo

un tramo considerado como el más representativo. Los demás cálculos estarán evidenciados en los anexos de este documento.

TRAMO HOMOGENEO 5										
Instituto del Asfalto (75%)	SUBRASANTE									
		N	500000	CBR	15,0	Mr (PSI)	12820	SN	2,30	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	26,9
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	1,71		m	1		m	0,9	
		e (pul)	5,74		SN2	2,16		SN3	2,3	
		e (cm)	14,6		SNbase	0,45		SNsub	0,14	
					e (pul)	3,46		e (pul)	1,41	
					e (cm)	8,8		e (cm)	3,6	
Media Aritmética	SUBRASANTE									
		N	500000	CBR	15,2	Mr (PSI)	12985	SN	2,29	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	26,7
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	1,71		m	1		m	0,9	
		e (pul)	5,74		SN2	2,16		SN3	2,29	
		e (cm)	14,6		SNbase	0,45		SNsub	0,13	
					e (pul)	3,46		e (pul)	1,31	
					e (cm)	8,8		e (cm)	3,3	
Criterio de la Media	SUBRASANTE									
		N	500000	CBR	13,9	Mr (PSI)	12195	SN	2,35	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	28,2
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	1,71		m	1		m	0,9	
		e (pul)	5,74		SN2	2,16		SN3	2,35	
		e (cm)	14,6		SNbase	0,45		SNsub	0,19	
					e (pul)	3,46		e (pul)	1,91	
					e (cm)	8,8		e (cm)	4,8	

Figura 10. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 500.000 ejes

Fuente: Elaboración Propia

Lo anterior se repitió para cada uno de los tránsitos seleccionados, dichos resultados se mostrarán a continuación:

TRAMO HOMOGENEO 5										
Instituto del Asfalto (87,5%)	SUBRASANTE									
		N	1000000	CBR	12,9	Mr (PSI)	11554	SN	2,67	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	32,3
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	1,93		m	1		m	0,9	
		e (pul)	6,47		SN2	2,43		SN3	2,67	
		e (cm)	16,4		SNbase	0,5		SNsub	0,24	
					e (pul)	3,84		e (pul)	2,41	
			e (cm)		9,8	e (cm)		6,1		
Media Aritmética	SUBRASANTE									
		N	1000000	CBR	15,2	Mr (PSI)	12985	SN	2,56	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	29,5
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	1,93		m	1		m	0,9	
		e (pul)	6,47		SN2	2,43		SN3	2,56	
		e (cm)	16,4		SNbase	0,5		SNsub	0,13	
					e (pul)	3,84		e (pul)	1,31	
			e (cm)		9,8	e (cm)		3,3		
Criterio de la Media	SUBRASANTE									
		N	1000000	CBR	13,9	Mr (PSI)	12195	SN	2,61	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	30,8
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	1,93		m	1		m	0,9	
		e (pul)	6,47		SN2	2,43		SN3	2,61	
		e (cm)	16,4		SNbase	0,5		SNsub	0,18	
					e (pul)	3,84		e (pul)	1,81	
			e (cm)		9,8	e (cm)		4,6		

Figura 11. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 1.000.000 ejes

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO HOMOGENEO 5										
Instituto del Asfalto (87,5%)	SUBRASANTE									
		N	1500000	CBR	12,9	Mr (PSI)	11554	SN	2,84	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	34,3
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	2,06		m	1		m	0,9	
		e (pul)	6,91		SN2	2,59		SN3	2,84	
		e (cm)	17,6		SNbase	0,53		SNsub	0,25	
					e (pul)	4,08		e (pul)	2,51	
					e (cm)	10,4		e (cm)	6,4	
Media Aritmética	SUBRASANTE									
		N	1500000	CBR	15,2	Mr (PSI)	12985	SN	2,72	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	31,2
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	2,06		m	1		m	0,9	
		e (pul)	6,91		SN2	2,59		SN3	2,72	
		e (cm)	17,6		SNbase	0,53		SNsub	0,13	
					e (pul)	4,08		e (pul)	1,31	
					e (cm)	10,4		e (cm)	3,3	
Criterio de la Media	SUBRASANTE									
		N	1500000	CBR	13,9	Mr (PSI)	12195	SN	2,78	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	32,7
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	2,06		m	1		m	0,9	
		e (pul)	6,91		SN2	2,59		SN3	2,78	
		e (cm)	17,6		SNbase	0,53		SNsub	0,19	
					e (pul)	4,08		e (pul)	1,91	
					e (cm)	10,4		e (cm)	4,8	

Figura 12. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 1.500.000 ejes

Fuente: Elaboración Propia.

TRAMO HOMOGENEO 5										
Instituto del Asfalto (87,5%)	SUBRASANTE									
		N	2000000	CBR	12,9	Mr (PSI)	11554	SN	2,96	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	35,7
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	2,15		m	1		m	0,9	
		e (pul)	7,21		SN2	2,69		SN3	2,96	
		e (cm)	18,3		SNbase	0,54		SNsub	0,27	
					e (pul)	4,15		e (pul)	2,71	
			e (cm)		10,5	e (cm)		6,9		
Media Aritmética	SUBRASANTE									
		N	2000000	CBR	15,2	Mr (PSI)	12985	SN	2,84	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	32,7
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	2,15		m	1		m	0,9	
		e (pul)	7,21		SN2	2,69		SN3	2,84	
		e (cm)	18,3		SNbase	0,54		SNsub	0,15	
					e (pul)	4,15		e (pul)	1,51	
			e (cm)		10,5	e (cm)		3,8		
Criterio de la Media	SUBRASANTE									
		N	2000000	CBR	13,9	Mr (PSI)	12195	SN	2,91	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO									Espesor Total (cm)
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr	15262	34,5
		a	0,298		CBR	80		CBR	30	
		m	1		a	0,13		a	0,11	
		SN1	2,15		m	1		m	0,9	
		e (pul)	7,21		SN2	2,69		SN3	2,91	
		e (cm)	18,3		SNbase	0,54		SNsub	0,22	
					e (pul)	4,15		e (pul)	2,21	
			e (cm)		10,5	e (cm)		5,6		

Figura 13. Espesores de la estructura de pavimento con tránsito de 2.000.000 ejes

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez diseñada cada una de las estructuras se realizó el chequeo de las deformaciones admisibles a tracción y a compresión producidas por la aplicación de la carga de los vehículos, dicho cálculo se sustenta mediante en el programa bisar, donde se introdujeron los datos como espesores de cada capa, con sus respectivos módulos y relaciones de poisson, además al

programa se le suministran unas coordenadas que ubican el análisis debajo de una llanta y en medio de ambas, con unas condiciones de carga en las que se fija el radio y el peso de la llanta, tomando en consideración un eje sencillo. Con estos datos, la interfaz del programa se encarga de realizar los cálculos de los esfuerzos y deformaciones por tracción debajo de la carpeta asfáltica, y por compresión encima de la subrasante en cada una de las coordenadas fijadas. A continuación, se presentará el desarrollo de lo anteriormente mencionado.

Number of Systems (1-10): 2

System Description: Positions Between the Wheels and Under a Wheel

Use Standard Dual Wheel? ☐

Mode of Load: 2 - Load and Radius

No of Circular Loads (1-10): 2

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	20,000	0,1077	0,0000	0,0000	0,000	0,0
2	20,000	0,1077	0,3230	0,0000	0,000	0,0

Figura 14. Magnitud y posicionamiento de la carga para el análisis.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se pudo observar en la imagen anterior, se asume un eje sencillo con doble llanta cada una de 2 toneladas, un radio de 10,77 cm y separadas a 32,30 cm. Esta consideración fue tomada en cuenta para todos los chequeos y a partir de ahí se introdujeron al programa los datos de cada diseño tal como se presentará a continuación.

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,146	1,45E+03	0,30
2	0,088	1,95E+02	0,35
3	0,036	1,07E+02	0,40
4		9,00E+01	0,40

Figura 15. Datos ingresados bisar diseño por el método del instituto del asfalto 500.000 ejes

Fuente: Bisar 3.0.

En la siguiente imagen se mostrará las coordenadas de los puntos donde se desea el programa realice el cálculo de las deformaciones.

Position Number	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Z (depth) Coordinate (m)	Layer No
1	0,0000	0,0000	0,1459	1
2	0,0000	0,0000	0,2710	4
3	0,1615	0,0000	0,1459	1
4	0,1615	0,0000	0,2710	4

Figura 16. Coordenadas para el análisis de deformaciones

Fuente: Bisar 3.0.

Una vez ingresados los datos anteriores el programa arroja las deformaciones en las coordenadas ubicadas, tal como se presenta en la siguiente imagen.



BISAR 3.0 - Block Report

ejercicio de Andrea y Rosa

System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)
1	0,146	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00
2	0,088	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00
3	0,036	1,070E+02	0,40								
4		9,000E+01	0,40								

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	Displacements UY (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,459E-01	4,266E-01	5,465E-01	-1,254E-01	2,071E+02	3,145E+02	-2,878E+02	-2,066E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	2,710E-01	-8,340E-03	-1,346E-03	-6,298E-02	1,932E+02	3,020E+02	-6,567E+02	-3,172E+01	0,000E+00
3	1	1,615E-01	0,000E+00	1,459E-01	1,737E-01	4,701E-01	-9,748E-02	4,269E+01	3,085E+02	-2,004E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,615E-01	0,000E+00	2,710E-01	-1,008E-02	-1,413E-03	-6,654E-02	1,901E+02	3,248E+02	-6,883E+02	0,000E+00	0,000E+00

Figura 17. Deformaciones del diseño de pavimento por el método del instituto del asfalto 500000 ejes (Tramo homogéneo 5).

Fuente: Bisar 3.0.

De los datos resaltados en el recuadro rojo se tuvo en cuenta la mayor deformación por tracción (eje Y) debajo de la carpeta asfáltica y la mayor deformación por compresión (eje Z) sobre la subrasante. Luego de seleccionados los datos, se procedió a calcular las deformaciones admisibles de los diseños por tracción y por compresión para determinar el número de ejes que la estructura es capaz de soportar antes de fallar por fatiga o por ahuellamiento. Para ello, se tuvo en la metodología Shell basada en el cálculo de deformaciones y esfuerzos. A modo de agilizar los cálculos se tomó un programa de Excel que permitió aplicar la formula diseñada por la metodología y validar si los diseños cumplían. Para ello se ingresan las especificaciones de la estructura

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO MODELIZADA - TRAMO HOMOGNEO 5					
Capa	Espesor (pulg)	Espesor (cm)	Modulo (MPa)	Modulo (psi)	Relacion de poisson
Carpeta Asfáltica	5.75	14.6	1453.00	207571.43	0.35
Base Granular	3.46	8.8	195.00	27857.14	0.40
Subbase Granular	1.42	3.6	107.00	15285.71	0.40
Granular remanente	0.00		0.00	0.00	0.00
Subrasante CBR%			90.00	12857.14	0.45

Figura 18. Datos para chequeo de deformaciones diseño por el método del instituto del asfalto 500000 ejes

Fuente: Hoja de Cálculo de Excel para cálculo de esfuerzos y deformaciones.

En la siguiente imagen se observa cómo se ingresan a la tabla de Excel las máximas deformaciones por tracción y compresión arrojadas por el programa Bisar.

ANÁLISIS DE DEFORMACIONES Y ESFUERZOS ACTUANTES (BISAR)				
Capa	Espesor (mm)	$\epsilon_t (\mu \text{ strain})$	$\epsilon_v (\mu \text{ strain})$	$\sigma_t (\text{MPa})$
Carpeta Asfáltica		3.140E+02		
Base Granular				
Subbase Granular				
Granular remanente				
Subrasante			6.88E+02	

Figura 19. Deformaciones ingresadas al Excel para diseño por método del instituto del asfalto 500000 ejes

Fuente: Hoja de Cálculo de Excel para cálculo de esfuerzos y deformaciones.

Una vez se cumple el paso anterior, se obtuvo el cálculo de las deformaciones admisibles del diseño en análisis verificándose si el diseño cumplía, tal como lo presenta la imagen a continuación.

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$

Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	5.00E+04
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
st a la falla	6.56E-04
st actuante	3.14E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	5.00E+05
sv a la falla	8.01E-04
st actuante	6.88E-04
Evaluación	Cumple

Figura 20. Deformaciones admisibles por Ley de Shell, para diseño por método instituto del asfalto 500000 ejes.

Fuente: Hoja de Cálculo de Excel para cálculo de esfuerzos y deformaciones.

Los diseños y chequeos fueron realizados para todos los tramos homogéneos en estudio obteniéndose los siguientes resultados de espesores y SN de diseño.

Tabla 17.

SN de diseño para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	2,41	2,18	2,41	2,37	2,30	2,56	2,37	2,26	2,39	2,15
	MEDIA ARITMETICA	2,41	2,15	2,37	2,36	2,29	2,46	2,19	2,27	2,32	2,09
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,61	2,40	2,45	2,41	2,35	2,60	2,40	2,31	2,38	2,18

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18.

Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	29,7	23,9	29,7	28,7	26,9	33,6	28,7	25,9	29,2	23,4
	MEDIA ARITMETICA	29,7	23,4	28,7	28,5	26,7	31,0	24,1	26,2	27,4	23,4
	CRITERIO DE LA MEDIA	34,8	29,5	30,8	29,7	28,2	34,6	29,5	27,2	29,0	23,9

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19.

SN de diseño para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	3,17	2,70	2,75	2,66	2,67	2,86	2,73	2,64	2,69	2,45
	MEDIA ARITMETICA	2,69	2,41	2,65	2,63	2,56	2,74	2,44	2,53	2,59	2,34
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,90	2,68	2,73	2,69	2,61	2,90	2,67	2,58	2,65	2,43

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20.

Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	45,1	33,1	34,4	32,1	32,3	37,2	33,9	31,6	32,8	26,7
	MEDIA ARITMETICA	32,8	26,2	31,8	31,3	29,5	34,1	26,5	28,8	30,3	26,2
	CRITERIO DE LA MEDIA	38,2	32,6	33,9	32,8	30,8	38,2	32,3	30,0	31,8	26,2

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21.

SN de diseño para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	3,36	2,87	2,93	2,83	2,84	3,05	2,91	2,81	2,86	2,61
	MEDIA ARITMETICA	2,86	2,56	2,82	2,80	2,72	2,92	2,60	2,69	2,76	2,49
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,09	2,85	2,91	2,86	2,78	3,08	2,85	2,75	2,83	2,59

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22.

Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	47,5	35,0	36,6	34,0	34,3	39,6	36,1	33,5	34,8	28,4
	MEDIA ARITMETICA	34,8	27,9	33,8	33,3	31,2	36,3	28,2	30,5	32,2	27,9
	CRITERIO DE LA MEDIA	40,7	34,5	36,1	34,8	32,7	40,4	34,5	32,0	34,0	27,9

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23.

SN de diseño para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (875%)	3,51	3,00	3,06	2,96	2,96	3,18	3,04	2,93	2,99	2,73
	MEDIA ARITMETICA	2,99	2,68	2,94	2,93	2,84	3,01	2,72	2,81	2,88	2,61
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,23	2,98	3,04	2,99	2,91	3,22	2,97	2,87	2,95	2,71

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24.

Espesores de diseño para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	49,8	36,8	38,3	35,7	35,7	41,4	37,8	35,0	36,5	29,9
	MEDIA ARITMETICA	36,5	28,9	35,2	35,0	32,7	37,0	29,6	31,9	33,7	28,9
	CRITERIO DE LA MEDIA	42,6	36,3	37,8	36,5	34,5	42,4	36,0	33,5	35,5	29,4

Fuente: Elaboración Propia.

Ahora bien, los diseños ilustrados anteriormente presentan los espesores reales arrojados por el método ASSHTO 93, sin embargo, estos diseños son imposibles de aplicar constructivamente, teniendo en cuenta que las carpetas asfálticas son demasiado rígidas. En consecuencia a ello se generarían sobrecostos a la hora de ejecutar los proyectos, así mismo, tomando en cuenta lo establecido por el manual de diseño de la ASSTHO los espesores de la base granular deben tener como mínimo 4 pulgadas acorde con los tránsitos que se están utilizando en este estudio, de modo que se garantice una superficie de apoyo adecuada para la carpeta asfáltica, esto se logra apreciar de forma más clara en la Figura 21.

Por lo anteriormente dicho, se recalcularon las estructuras de pavimento diseñadas, respetando el numero estructural arrojado por el método ASSTHO, para ello se planteó un espesor de carpeta asfáltica y de base de 10cm y 15 cm respectivamente, donde se entró a modificar los grosores de subbase, asegurando que estos suplan el numero estructural restante, para que se respete la equivalencia del SN total de la estructura.

Minimum Thickness (inches)		
Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1 0 (or surface treatment)	4
50,001–150,000	2 0	4
150,001–500,000	2 5	4
500,001–2,000,000	3 0	6
2,000,001–7,000,000	3 5	6
Greater than 7,000,000	4 0	6

Figura 21. Espesores mínimos recomendados por la ASSHTO.

Fuente: ASSHTO guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.

A continuación, se mostrará el recálculo de los diseños de pavimento del mismo tramo que ha sido ilustrado en el documento con su respectivo chequeo de las deformaciones.

TRAMO HOMOGENEO 5										
Instituto del Asfalto (75%)	SUBRASANTE								Espesor Total (cm)	
		N	500000	CBR	15,0	Mr (PSI)	12820	SN		2,3
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO								35,0	
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr		15262
		a	0,298		CBR	80		CBR		30
		m	1		a	0,13		a		0,11
		SN1	1,17		m	1		m		0,9
		e (pul)	3,94		SN2	1,94		SN3		2,3
		e (cm)	10,0		SNbase	0,77		SNsub		0,36
					e (pul)	5,91		e (pul)		3,60
					e (cm)	15,0		e (cm)		10,0
	Media Aritmética	SUBRASANTE								Espesor Total (cm)
			N	500000	CBR	15,2	Mr (PSI)	12985	SN	
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO								34,0		
Carpeta Asfáltica		Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular		Mr	15262
		a	0,298		CBR	80			CBR	30
		m	1		a	0,13			a	0,11
		SN1	1,17		m	1			m	0,9
		e (pul)	3,94		SN2	1,94			SN3	2,29
		e (cm)	10,0		SNbase	0,77			SNsub	0,35
					e (pul)	5,91			e (pul)	3,50
					e (cm)	15,0			e (cm)	9,0
Criterio de la Media		SUBRASANTE								Espesor Total (cm)
			N	500000	CBR	13,9	Mr (PSI)	12195	SN	
	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO								36,0	
	Carpeta Asfáltica	Mr	207632	Base Granular	Mr	27927	Subbase Granular	Mr		15262
		a	0,298		CBR	80		CBR		30
		m	1		a	0,13		a		0,11
		SN1	1,17		m	1		m		0,9
		e (pul)	3,94		SN2	1,94		SN3		2,35
		e (cm)	10,0		SNbase	0,77		SNsub		0,41
					e (pul)	5,91		e (pul)		4,10
					e (cm)	15,0		e (cm)		11,0

Figura 22. Espesores de la estructura de pavimento Recalculado con tránsito de 500.000 ejes

Fuente: Elaboración Propia.

Para el chequeo de las deformaciones se llevó a cabo el mismo procedimiento realizado para las estructuras iniciales, a continuación, se mostrará el cálculo realizado para cada una de las estructuras equivalentes diseñadas en el tramo homogéneo 5.

BISAR 3.0 - Block Report												
ejercicio de Andrea y Rosa												
System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel												
Structure				Loads								
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	
1	0,100	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00	
2	0,150	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00	
3	0,100	1,070E+02	0,40									
4		9,000E+01	0,40									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	Displacements UY (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	9,900E-02	5,036E-01	6,303E-01	-2,134E-01	2,611E+02	3,746E+02	-3,818E+02	-1,488E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	3,510E-01	-5,609E-03	6,205E-04	-5,561E-02	1,821E+02	2,790E+02	-5,957E+02	-3,222E+01	0,000E+00
3	1	1,615E-01	0,000E+00	9,900E-02	-4,902E-02	4,320E-01	-1,326E-01	-9,575E+01	3,355E+02	-1,707E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,615E-01	0,000E+00	3,510E-01	-5,479E-03	7,509E-04	-6,073E-02	2,057E+02	3,026E+02	-6,538E+02	0,000E+00	0,000E+00

Figura 23. Deformaciones del diseño de pavimento recalculado por el método del Instituto del Asfalto para 500000 ejes

Fuente: Bisar 3.0.

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$

Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	5.00E+04
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
ε_t a la falla	6.56E-04
ε_t actuante	3.74E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	5.00E+05
ε_v a la falla	8.01E-04
ε_v actuante	6.53E-04
Evaluación	Cumple

Figura 24. Deformaciones admisibles por Shell, para diseño recalculado por el método del Instituto del Asfalto 500000 ejes.

Fuente: Hoja de Cálculo de Excel para cálculo de esfuerzos y deformaciones.

Esto mismo se llevó a cabo para todos los tramos homogéneos del trecho vial en estudio y finalmente se obtuvieron los espesores equivalentes según el número de ejes y la metodología de %CBR seleccionada.

Tabla 25.

SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	2,41	2,18	2,41	2,37	2,30	2,56	2,37	2,26	2,39	2,15
	MEDIA ARITMETICA	2,41	2,15	2,37	2,36	2,29	2,46	2,19	2,27	2,32	2,09
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,61	2,40	2,45	2,41	2,35	2,60	2,40	2,31	2,38	2,18

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 26.

Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	37,0	32,0	37,0	36,0	35,0	41,0	36,0	34,0	37,0	25,0

MEDIA ARITMETICA	37,0	25,0	36,0	36,0	34,0	39,0	32,0	34,0	35,0	29,0
CRITERIO DE LA MEDIA	43,0	37,0	38,0	37,0	36,0	42,0	37,0	35,0	37,0	32,0

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 27.

SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	3,17	2,70	2,75	2,66	2,67	2,86	2,73	2,64	2,69	2,45
	MEDIA ARITMETICA	2,69	2,41	2,65	2,63	2,56	2,74	2,44	2,53	2,59	2,34
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,90	2,68	2,73	2,69	2,61	2,90	2,67	2,58	2,65	2,43

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 28.

Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (1.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	57,0	45,0	48,0	44,0	44,0	49,0	46,0	43,0	45,0	38,0
	MEDIA ARITMETICA	45,0	25,0	44,0	43,0	41,0	46,0	38,0	41,0	42,0	36,0

	CRITERIO DE LA MEDIA	50,0	44,0	46,0	45,0	43,0	50,0	44,0	42,0	44,0	38,0
--	----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 29.

SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	3,36	2,87	2,93	2,83	2,84	3,05	2,91	2,81	2,86	2,61
	MEDIA ARITMETICA	2,86	2,56	2,82	2,80	2,72	2,92	2,60	2,69	2,76	2,49
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,09	2,85	2,91	2,86	2,78	3,08	2,85	2,75	2,83	2,59

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30.

Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (1.500.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	62,0	49,0	51,0	48,0	48,0	54,0	50,0	48,0	49,0	43,0
	MEDIA ARITMETICA	49,0	25,0	48,0	47,0	45,0	50,0	42,0	45,0	46,0	39,0
	CRITERIO DE LA MEDIA	55,0	49,0	50,0	49,0	47,0	55,0	49,0	46,0	48,0	42,0

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31.

SN de diseño recalculado para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	3,51	3,00	3,06	2,96	2,96	3,18	3,04	2,93	2,99	2,73
	MEDIA ARITMETICA	2,99	2,68	2,94	2,93	2,84	3,01	2,72	2,81	2,88	2,61
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,23	2,98	3,04	2,99	2,91	3,22	2,97	2,87	2,95	2,71

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32.

Espesores de diseño recalculados para cada tramo Homogéneo (2.000.000 ejes).

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	65,0	55,0	54,0	51,0	51,0	57,0	54,0	51,0	52,0	46,0
	MEDIA ARITMETICA	52,0	25,0	51,0	51,0	48,0	53,0	45,0	48,0	49,0	43,0
	CRITERIO DE LA MEDIA	55,0	55,0	54,0	52,0	50,0	58,0	52,0	49,0	51,0	45,0

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez calculados los espesores de pavimento por cada método de diseño y para cada uno de los tránsitos establecidos, la siguiente etapa consistió en realizar las comparaciones de los cálculos obtenidos y elaborar un análisis gráfico.

Fase 6: Análisis Comparativo

En esta fase se construyeron una serie gráficas las cuales permitieron hacer comparaciones entre los espesores y los números estructurales. De este modo, se logró determinar las variaciones que presenta cada método respecto a los demás, y establecer las ventajas y desventajas por cada uno.

A partir de los valores obtenidos en los espesores y numeros estructurales de los diseños originales, se analizaron cada uno de los tramos donde cada uno de los métodos de selección de %CBR de diseño fueron identificados en los gráficos utilizando el codigo de color registrado en la siguiente tabla:

Tabla 33.

Código de color para cada metodología.

COLOR	CRITERIO DE DISEÑO
1	CRITERIO DE LA MEDIA
2	MEDIA ARITMETICA
3	INSTITUTO DEL ASFALTO

Fuente: Elaboración Propia.

En este inciso se mostrará el análisis comparativo representado en el tramo homogéneo 5 teniendo en cuenta que este fue el seleccionado como el tramo más representativo. En las gráficas mostradas a continuación se podrá observar la variación de los espesores y de los números estructurales respecto al método de %CBR seleccionado.

Tabla 34.

Comparación SN y espesor Vs %CBR Tramo homogéneo 5 (500.000 ejes)

TRAMO 5 (500000 EJES)			
CRITERIO	CBR	SN	ESPESOR
A	13,9	2,35	28,2
B	15,0	2,30	26,9
C	15,2	2,29	26,7

Fuente: Elaboración Propia.

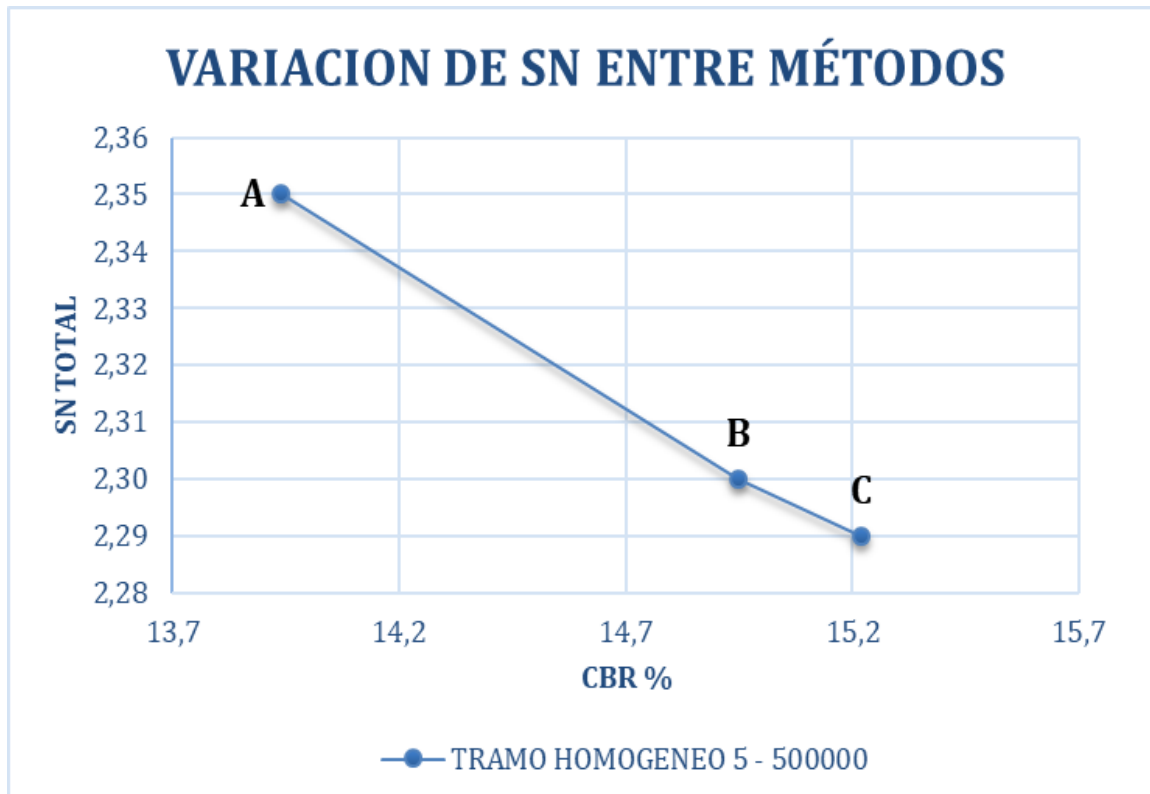


Figura 25. Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5

Fuente. Elaboración Propia

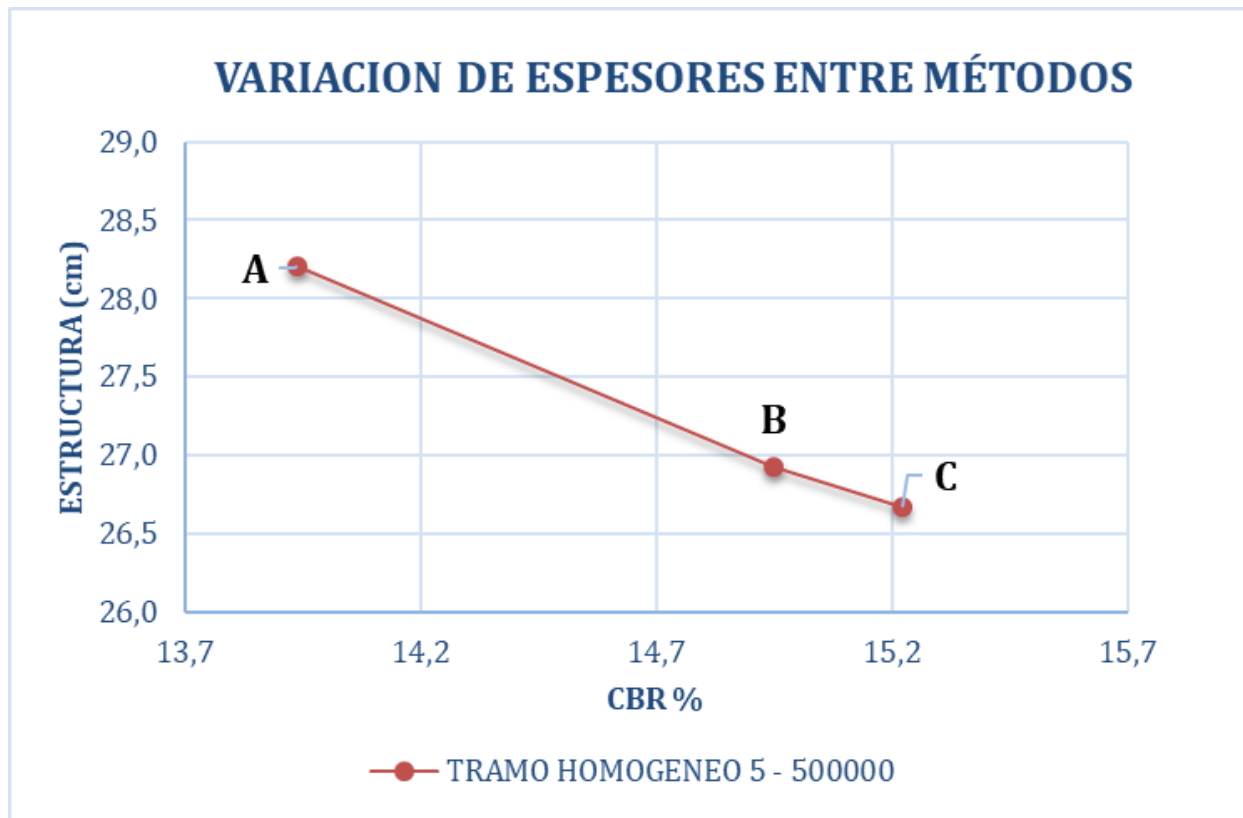


Figura 26. Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 35.

Porcentaje de variación en los SN total - 500.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
SN TOTAL		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	2,13	A-B	7,25
B-C	0,43	B-C	1,82
A-C	2,55	A-C	9,20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36.

Porcentaje de variación en los SN total - 500.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
ESTRUCTURA		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	4,52	A-B	7,25
B-C	0,95	B-C	1,82
A-C	5,42	A-C	9,20

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37.

Comparación SN y espesor vs %CBR Tramo homogéneo 5 (1.000.000 ejes)

TRAMO 5 (1000000 EJES)			
CRITERIO	CBR	SN	ESPESOR
A	12,9	2,67	32,3
B	13,9	2,61	30,8
C	15,2	2,56	29,5

Fuente: Elaboración Propia.

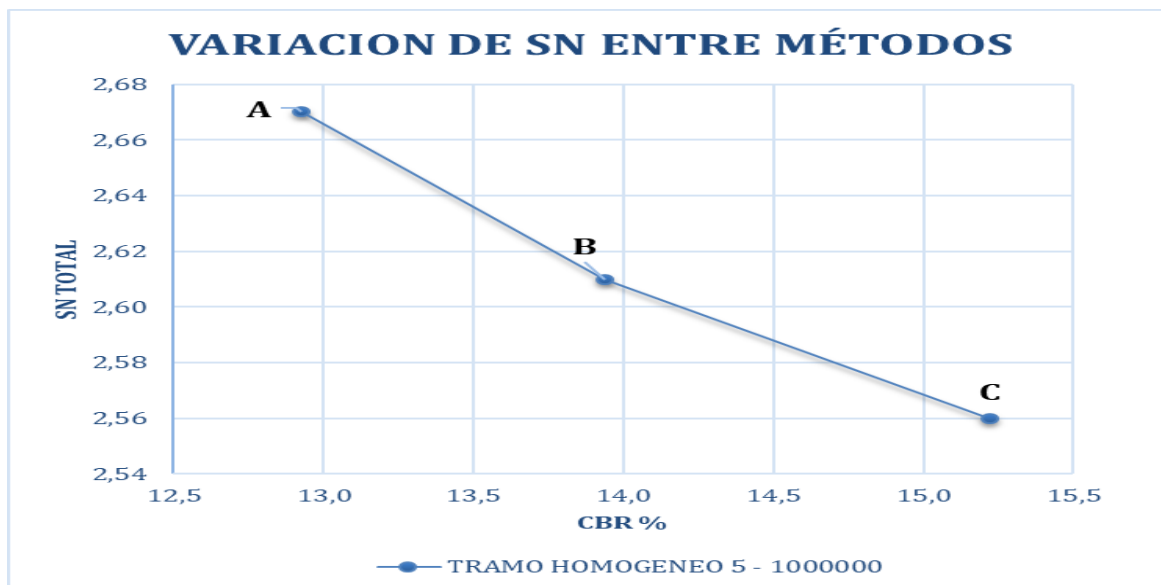


Figura 27. Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5

Fuente: Elaboración Propia.

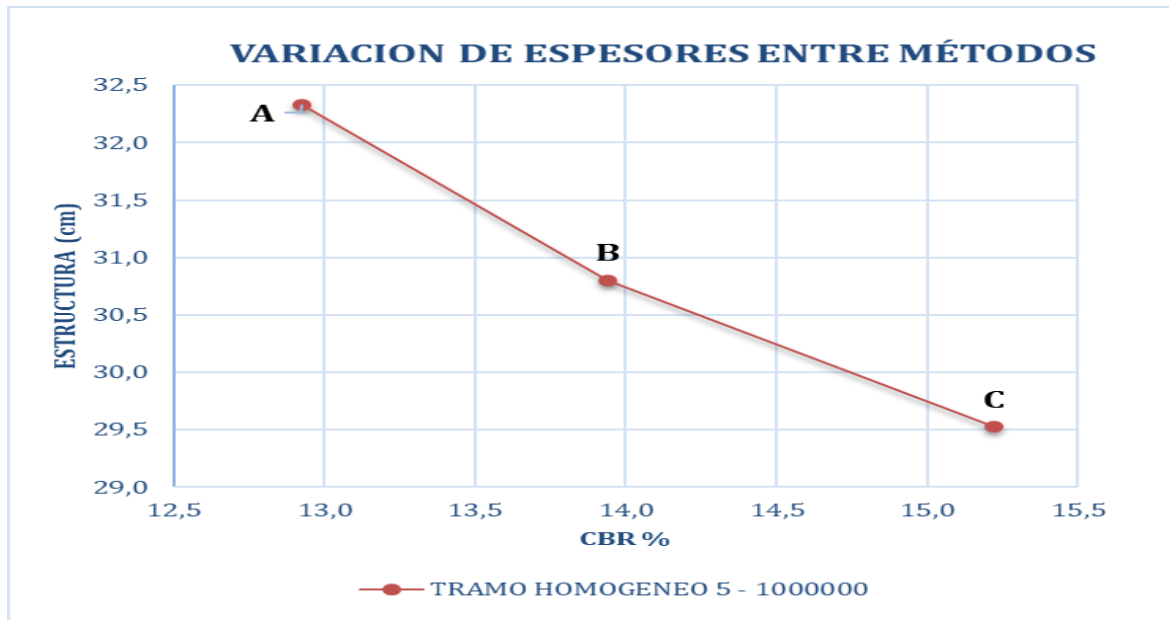


Figura 28. Variación de espesores entre métodos Tramo Homogéneo 5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38.

Porcentaje de variación en los SN total - 1.000.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
SN TOTAL		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	2,25	A-B	7,85
B-C	1,92	B-C	9,20
A-C	4,12	A-C	17,77

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39.

Porcentaje de variación en los espesores - 1.000.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
ESTRUCTURA		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	4,73	A-B	7,85
B-C	4,14	B-C	9,20
A-C	8,68	A-C	17,77

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40.

Comparación SN y espesor Vs %CBR Tramo homogéneo 5 (1.500.000 ejes)

TRAMO 5 (1500000 EJES)			
CRITERIO	CBR	SN	ESPESOR
A	12,9	2,84	34,3
B	13,9	2,78	32,7
C	15,2	2,72	31,2

Fuente: Elaboración Propia.

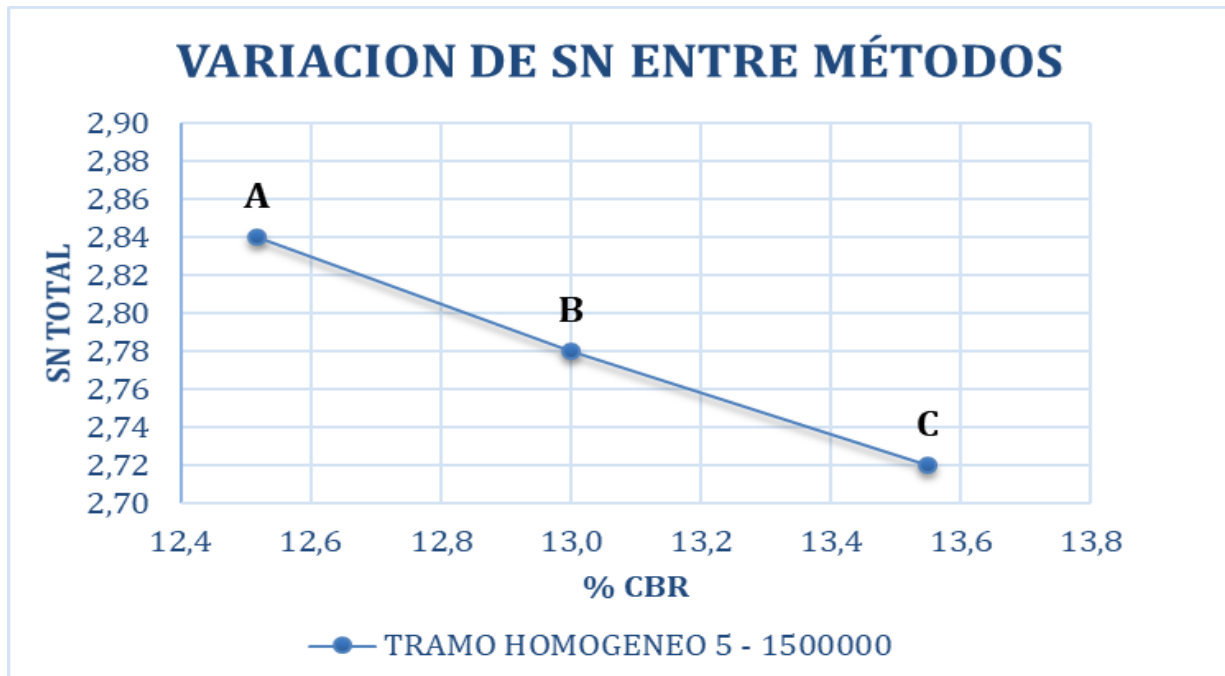


Figura 29. Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5

Fuente: Elaboración Propia.

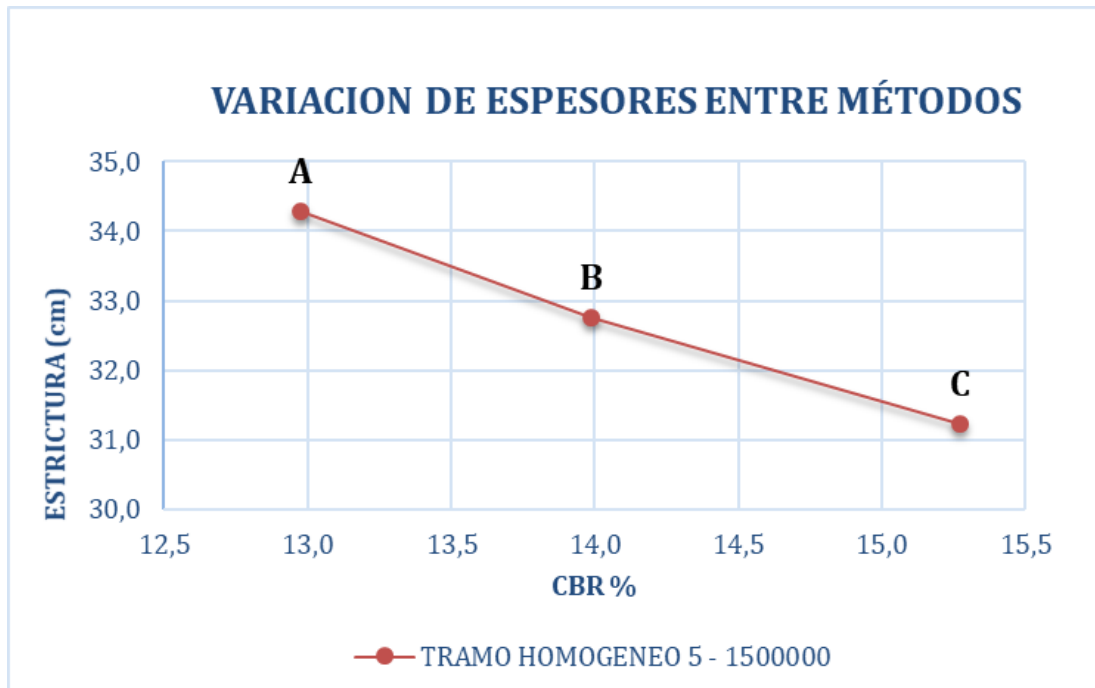


Figura 30. Variación de espesores entre métodos Tramo Homogéneo 5

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 41.

Porcentaje de variación en los SN total - 1.500.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
SN TOTAL		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	2,11	A-B	7,85
B-C	2,16	B-C	9,20
A-C	4,23	A-C	17,77

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 42.

Porcentaje de variación en los espesores - 1.500.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
ESTRUCTURA		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	4,46	A-B	7,85
B-C	4,67	B-C	9,20
A-C	8,93	A-C	17,77

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43.

Comparación SN y espesor Vs %CBR Tramo homogéneo 5 (2.000.000 ejes)

TRAMO 5 (2000000 EJES)			
CRITERIO	CBR	SN	ESPESOR
A	12,9	2,96	35,7
B	13,9	2,91	34,5
C	15,2	2,84	32,7

Fuente: Elaboración Propia.

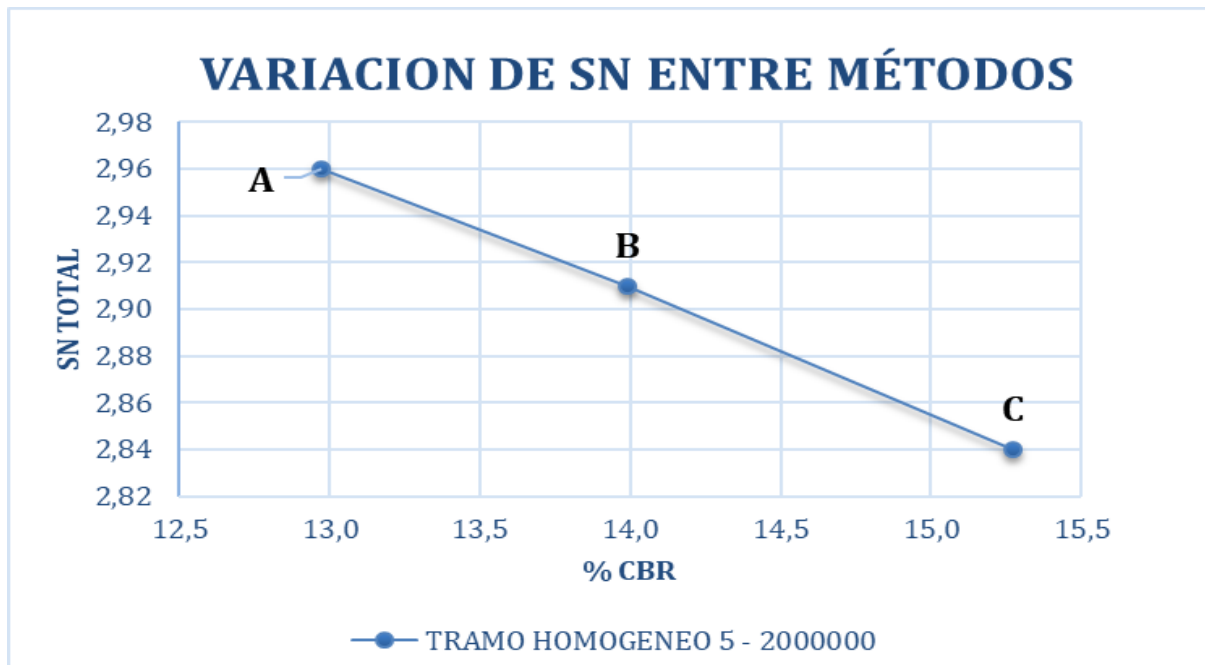


Figura 31. Variación de SN entre métodos Tramo Homogéneo 5

Fuente: Elaboración Propia

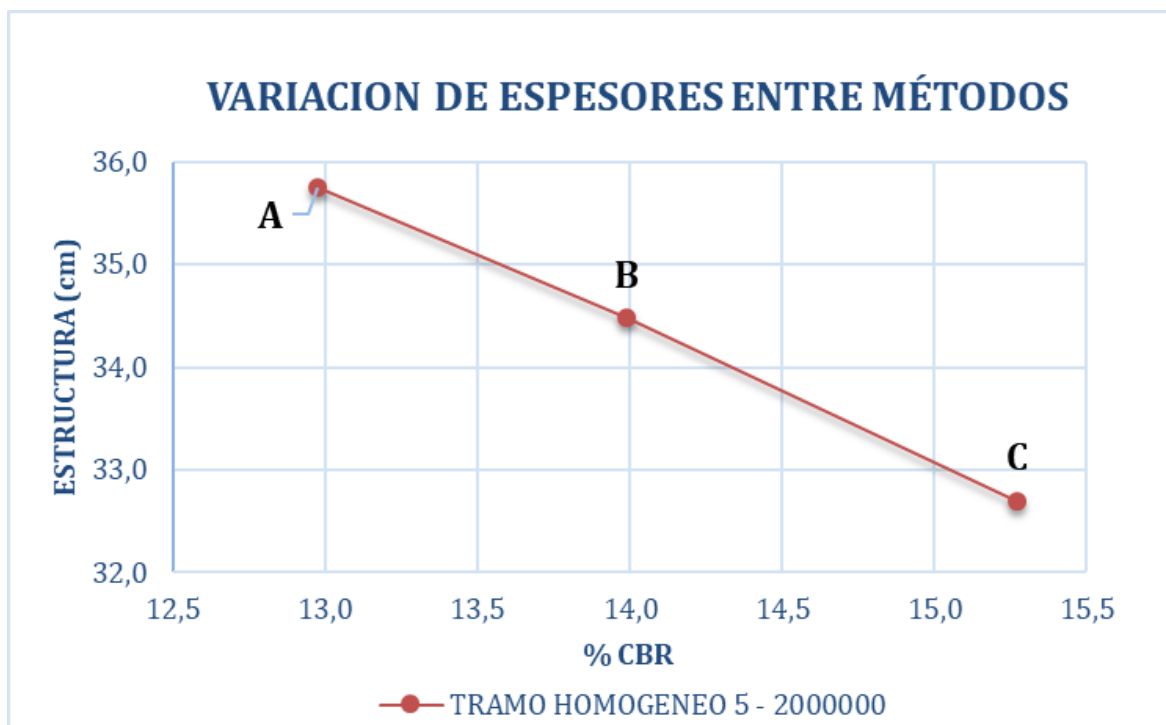


Figura 32. Variación de espesores entre métodos Tramo Homogéneo 5 Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44.

Porcentaje de variación en los SN total - 2.000.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
SN TOTAL		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	1,69	A-B	7,85
B-C	2,41	B-C	9,20
A-C	4,05	A-C	17,77

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 45.

Porcentaje de variación en los espesores - 2.000.000 ejes

DIFERENCIAS ENTRE MÉTODOS			
GRAFICA			
ESTRUCTURA		CBR	
PUNTOS	%	PUNTOS	%
A-B	3,57	A-B	7,85
B-C	5,18	B-C	9,20
A-C	8,56	A-C	17,77

Fuente: Elaboración Propia

Adicional al análisis de las variaciones se construyó una serie de graficas que relacionan el comportamiento de los espesores y los números estructurales métodos a medida que se aumenta el número de ejes en los diseños. Para la construcción de las siguientes gráficas se tabulo el numero estructural vs número de ejes equivalentes teniendo en cuenta los valores de %CBR arrojado por cada método.

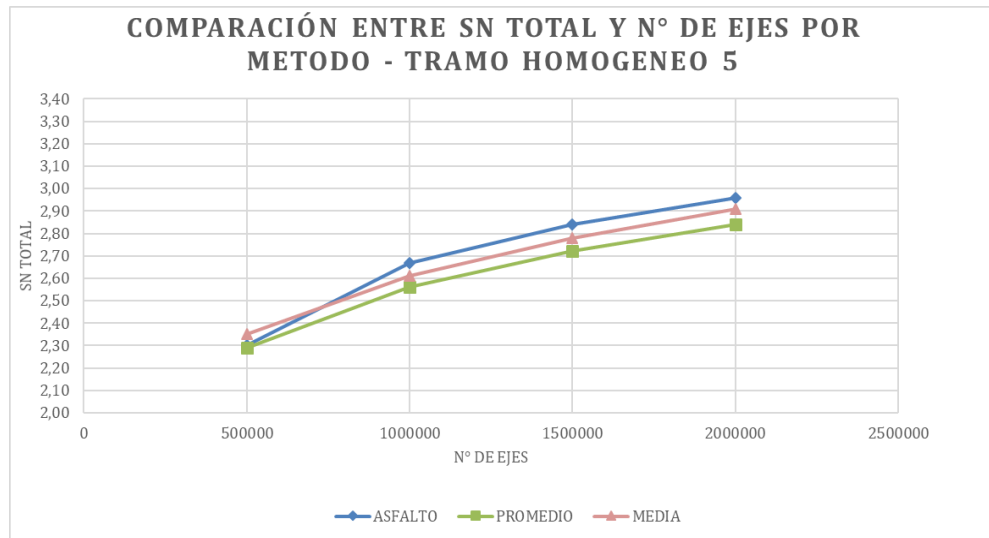


Figura 33. Comparación entre SN total y N° de ejes equivalentes.

Fuente: Elaboración Propia.

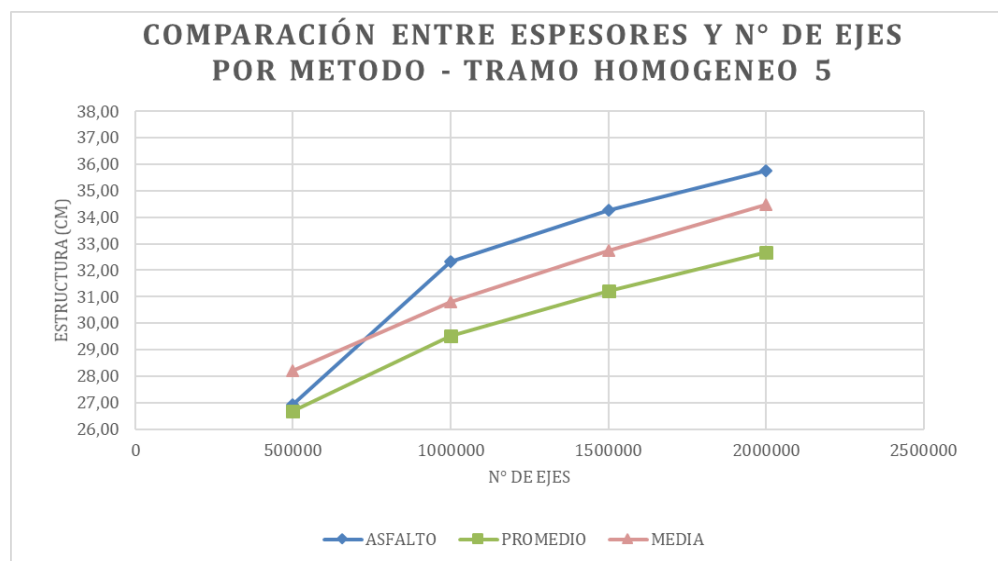


Figura 34. Comparación entre espesores y N° de ejes equivalentes.

Fuente: Elaboración Propia.

En el último análisis que se llevó a cabo se realizó una serie de diseños llegando hasta los 11.000.000 de ejes equivalentes, esto con el fin de verificar a partir de que numero de ejes deja de influenciar el método seleccionado en la determinación del %CBR de un tramo homogéneo en

el cálculo de los valores de SN y por ende en los espesores de los diseños de las estructuras. Para cumplir con ello se realizaron nuevamente los diseños siguiendo el paso a paso ya descrito, sin embargo, en este caso se tuvo en cuenta para el análisis el trecho vial número 4, el cual posee solo 3 tramos homogéneos.

Tabla 46.

Porcentaje de variación de SN hasta 11.000.000 ejes.

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 500000 Y 1000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
500000	Instituto del Asfalto (75%)	2,41	2,27	2,36	13,69	16,74	13,14
	Media Aritmética	2,32	2,25	2,26	13,79	12,00	11,50
	Criterio de la Media	2,43	2,32	2,37	12,76	11,64	11,81
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 1000000 Y 1500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
1000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	2,74	2,65	2,67	6,57	6,42	6,37
	Media Aritmética	2,64	2,52	2,52	6,44	6,75	6,75
	Criterio de la Media	2,74	2,59	2,65	6,57	6,56	6,79
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 1500000 Y 2000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
1500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	2,92	2,82	2,84	3,42	3,55	3,52
	Media Aritmética	2,81	2,69	2,69	3,56	3,35	3,72
	Criterio de la Media	2,92	2,76	2,83	3,08	3,62	3,53
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 2000000 Y 2500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3

2000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,02	2,92	2,94	3,31	3,42	3,40
	Media Aritmética	2,91	2,78	2,79	3,44	3,60	3,58
	Criterio de la Media	3,01	2,86	2,93	3,65	3,50	3,41
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 2500000 Y 3000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
2500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,12	3,02	3,04	2,88	2,65	2,96
	Media Aritmética	3,01	2,88	2,89	2,66	2,78	2,77
	Criterio de la Media	3,12	2,96	3,03	2,56	2,70	2,64
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 3000000 Y 3500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
3000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,21	3,10	3,13	2,49	2,58	2,24
	Media Aritmética	3,09	2,96	2,97	2,27	2,36	2,36
	Criterio de la Media	3,20	3,04	3,11	2,50	2,30	2,25
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 3500000 Y 4000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
3500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,29	3,18	3,20	1,82	1,89	1,87
	Media Aritmética	3,16	3,03	3,04	2,22	1,98	1,97
	Criterio de la Media	3,28	3,11	3,18	2,13	2,25	2,20
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 4000000 Y 4500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
4000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,35	3,24	3,26	1,79	1,85	1,84
	Media Aritmética	3,23	3,09	3,10	1,86	1,94	1,94
	Criterio de la Media	3,35	3,18	3,25	1,49	1,57	1,85
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 4500000 Y 5000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3

4500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,41	3,30	3,32	1,76	1,52	1,51
	Media Aritmética	3,29	3,15	3,16	1,52	1,59	1,58
	Criterio de la Media	3,40	3,23	3,31	1,76	1,86	1,51
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 5000000 Y 5500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
5000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,47	3,35	3,37	1,15	1,49	1,48
	Media Aritmética	3,34	3,20	3,21	1,50	1,25	1,25
	Criterio de la Media	3,46	3,29	3,36	1,45	1,22	1,49
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 5500000 Y 6000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
5500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,51	3,40	3,42	1,42	1,18	1,46
	Media Aritmética	3,39	3,24	3,25	1,18	1,54	1,23
	Criterio de la Media	3,51	3,33	3,41	1,14	1,50	1,17
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 6000000 Y 6500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
6000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,56	3,44	3,47	1,12	1,16	1,15
	Media Aritmética	3,43	3,29	3,29	1,17	1,22	1,22
	Criterio de la Media	3,55	3,38	3,45	1,13	1,18	1,16
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 6500000 Y 7000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
6500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,60	3,48	3,51	1,11	1,15	1,14
	Media Aritmética	3,47	3,33	3,33	1,15	0,90	1,20
	Criterio de la Media	3,59	3,42	3,49	1,11	0,88	1,15
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 7000000 Y 7500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3

7000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,64	3,52	3,55	1,10	1,14	0,85
	Media Aritmética	3,51	3,36	3,37	0,85	1,19	1,19
	Criterio de la Media	3,63	3,45	3,53	1,10	1,16	1,13
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 7500000 Y 8000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
7500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,68	3,56	3,58	0,82	0,84	1,12
	Media Aritmética	3,54	3,40	3,41	1,13	0,88	0,88
	Criterio de la Media	3,67	3,49	3,57	1,09	0,86	0,84
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 8000000 Y 8500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
8000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,71	3,59	3,62	1,08	0,84	0,83
	Media Aritmética	3,58	3,43	3,44	0,84	0,87	0,87
	Criterio de la Media	3,71	3,52	3,60	0,81	1,14	0,83
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 8500000 Y 9000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
8500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,75	3,62	3,65	0,80	1,10	0,82
	Media Aritmética	3,61	3,46	3,47	0,83	0,87	0,86
	Criterio de la Media	3,74	3,56	3,63	0,80	0,84	0,83
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 9000000 Y 9500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
9000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,78	3,66	3,68	0,79	0,55	0,82
	Media Aritmética	3,64	3,49	3,50	0,82	0,86	0,86
	Criterio de la Media	3,77	3,59	3,66	0,80	0,56	0,82
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 9500000 Y 10000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3

9500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,81	3,68	3,71	0,79	0,82	0,81
	Media Aritmética	3,67	3,52	3,53	0,82	0,85	0,57
	Criterio de la Media	3,80	3,61	3,69	0,79	0,83	0,81
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 10000000 Y 10500000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
10000000	Instituto del Asfalto (87,5%) Instituto del Asfalto (87,5%)	3,84	3,71	3,74	0,52	0,81	0,53
	Media Aritmética	3,70	3,55	3,55	0,54	0,56	0,85
	Criterio de la Media	3,83	3,64	3,72	0,52	0,82	0,81
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			% DE VARIACION ENTRE 10500000 Y 11000000 DE EJES		
		TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO	TRAMO
		1	2	3	1	2	3
10500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,86	3,74	3,76	0,78	0,53	0,80
	Media Aritmética	3,72	3,57	3,58	0,81	0,84	0,56
	Criterio de la Media	3,85	3,67	3,75	0,78	0,54	0,53
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO					
		TRAMO	TRAMO	TRAMO			
		1	2	3			
11000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	3,89	3,76	3,79			
	Media Aritmética	3,75	3,60	3,60			
	Criterio de la Media	3,88	3,69	3,77			

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 47.

Porcentaje de variación de espesores hasta 11.000.000 ejes.

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 500000 Y 1000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
500000	Instituto del Asfalto (75%)	29,7	26,2	28,5	14,73	21,62	13,60
	Media Aritmética	27,4	25,7	25,9	15,04	11,11	10,02
	Criterio de la Media	30,2	27,4	28,7	12,80	10,39	10,82
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 1000000 Y 1500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
1000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	34,1	31,8	32,3	6,46	6,12	6,03
	Media Aritmética	31,6	28,5	28,5	6,17	6,84	6,84
	Criterio de la Media	34,1	30,3	31,8	6,46	6,43	6,93
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 1500000 Y 2000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
1500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	36,3	33,8	34,3	2,65	2,85	4,55
	Media Aritmética	33,5	30,5	30,5	2,87	2,32	3,16
	Criterio de la Media	36,3	32,2	34,0	1,95	2,98	2,83
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 2000000 Y 2500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
2000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	37,3	34,7	35,8	3,04	3,26	1,49
	Media Aritmética	34,5	31,2	31,4	3,28	3,63	3,60
	Criterio de la Media	37,0	33,2	35,0	3,75	3,41	3,24
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 2500000 Y 3000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3

2500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	38,4	35,9	36,4	2,73	2,21	2,88
	Media Aritmética	35,6	32,3	32,5	2,22	2,45	2,43
	Criterio de la Media	38,4	34,3	36,1	2,06	2,31	2,19
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 3000000 Y 3500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
3000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	39,5	36,7	37,4	2,72	2,92	2,18
	Media Aritmética	36,4	33,1	33,3	2,24	2,47	2,45
	Criterio de la Media	39,2	35,1	36,9	2,73	2,32	2,21
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 3500000 Y 4000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
3500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	40,5	37,7	38,2	1,53	1,65	1,63
	Media Aritmética	37,2	33,9	34,2	2,35	1,83	1,82
	Criterio de la Media	40,3	35,9	37,7	2,18	2,44	2,32
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 4000000 Y 4500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
4000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	41,2	38,3	38,9	1,65	1,78	1,75
	Media Aritmética	38,1	34,5	34,8	1,79	1,97	1,96
	Criterio de la Media	41,2	36,8	38,6	1,04	1,16	1,76
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 4500000 Y 5000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
4500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	41,8	39,0	39,5	1,89	1,37	1,36
	Media Aritmética	38,8	35,2	35,5	1,38	1,52	1,51
	Criterio de la Media	41,6	37,2	39,3	1,90	2,12	1,36
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 5000000 Y 5500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
5000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	42,6	39,6	40,1	0,80	0,23	0,36
	Media Aritmética	39,3	35,7	36,0	1,52	0,17	0,10
	Criterio de la Media	42,4	38,0	39,8	1,41	0,44	0,30

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 5500000 Y 60000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
5500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	43,0	39,5	39,9	1,64	1,14	1,70
	Media Aritmética	39,9	35,8	36,0	1,13	1,90	1,25
	Criterio de la Media	43,0	37,9	39,7	21,92	1,80	1,14
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 6000000 Y 6500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
6000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	43,7	39,9	40,6	1,03	1,13	1,11
	Media Aritmética	40,4	36,5	36,5	1,12	1,24	1,24
	Criterio de la Media	52,4	38,5	40,2	16,26	1,17	1,12
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 6500000 Y 7000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
6500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	44,1	40,4	41,1	1,02	1,12	1,10
	Media Aritmética	40,8	36,9	36,9	1,11	0,60	1,22
	Criterio de la Media	43,9	39,0	40,6	1,03	0,57	1,11
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 7000000 Y 7500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
7500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	44,6	40,8	41,5	1,15	1,19	0,62
	Media Aritmética	41,3	37,2	37,4	0,62	1,31	1,30
	Criterio de la Media	44,3	39,2	41,1	1,15	1,24	1,18
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 7500000 Y 8000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
7500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	45,1	41,3	41,8	0,57	0,62	1,16
	Media Aritmética	41,5	37,6	37,9	1,23	0,68	0,68
	Criterio de la Media	44,8	39,7	41,5	1,14	0,64	0,62
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 8000000 Y 8500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3

8000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	45,3	41,6	42,3	1,37	0,88	0,87
	Media Aritmética	42,0	37,9	38,1	0,87	0,97	0,96
	Criterio de la Media	45,3	40,0	41,8	0,81	1,49	0,88
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 8500000 Y 9000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
8500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	46,0	41,9	42,6	0,56	1,16	0,60
	Media Aritmética	42,4	38,3	38,5	0,60	0,67	0,66
	Criterio de la Media	45,7	40,6	42,2	0,56	0,63	0,61
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 9000000 Y 9500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
9000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	46,2	42,4	42,9	0,79	0,32	0,85
	Media Aritmética	42,6	38,5	38,7	0,86	0,95	0,94
	Criterio de la Media	46,0	40,8	42,4	2,77	0,33	0,86
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 9500000 Y 10000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
9500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	46,6	42,6	43,2	0,79	0,86	0,85
	Media Aritmética	43,0	38,9	39,1	0,85	0,94	0,35
	Criterio de la Media	47,2	40,9	42,8	1,15	0,89	0,85
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 10000000 Y 10500000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
10000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	46,9	42,9	43,6	0,36	0,93	0,39
	Media Aritmética	43,4	39,2	39,2	0,39	0,43	1,02
	Criterio de la Media	46,7	41,3	43,1	0,36	0,97	0,93
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO			% DE VARIACION ENTRE 10500000 Y 11000000 DE EJES		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
10500000	Instituto del Asfalto (87,5%)	47,1	43,3	43,8	0,78	0,31	0,84
	Media Aritmética	43,5	39,4	39,6	0,84	0,93	0,34
	Criterio de la Media	46,9	41,7	43,5	0,78	0,33	0,31

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
11000000	Instituto del Asfalto (87,5%)	47,5	43,5	44,1
	Media Aritmética	43,9	39,8	39,8
	Criterio de la Media	47,2	41,8	43,7

Fuente: Elaboración Propia.

8. Conclusiones

El análisis comparativo de las metodologías para el cálculo del CBR de diseño en la determinación de los espesores de estructuras de pavimento flexible arroja como conclusiones los siguientes ítems descritos a continuación:

- El método a utilizar para la selección del CBR depende exclusivamente del criterio que tenga el ingeniero encargado del diseño, debido a que, este influenciara de forma directa en las dimensiones de la estructura de pavimentos y, al mismo tiempo, en los costos finales de la obra.
- Hecha esta salvedad y de acuerdo con la investigación realizada, la metodología más conveniente para determinar el CBR de diseño de una estructura de pavimentos es la del Instituto del Asfalto, puesto que, esta proporciona flexibilidad acorde con el nivel de importancia de la vía en estudio, así mismo, permite escoger el número de ejes que la estructura soportará durante su periodo de vida útil manteniendo los parámetros estadísticos que contemplan la dispersión de los datos tomados por los ensayos de resistencia de la subrasante.

Dicha metodología, se vuelve mas conservadora a medida que el número de ejes aumentan haciendo que las dimensiones de los espesores se vean afectadas directamente por estos. Cabe resaltar que, a mayor numero de ejes mayores deformaciones se presentaran en la estructura, por ende, el pavimento estará mas expuesto a la fatiga y al ahuellamiento.

Adicionalmente, la metodología del Criterio de la Media arroja resultados similares a las del Instituto del Asfalto. No obstante, se debe hacer énfasis en que, esto ocurre sólo cuando el número de ejes es superior a un millón. Por tanto, dicha metodología se vuelve

un poco rigurosa cuando el numero de ejes es inferior a dicha cantidad teniendo resultado estructuras con bastos espesores.

Por otro lado, dentro de la investigación, el método menos recomendado es el de la Media Aritmética, ya que dado el caso exista una gran dispersión entre los datos del espacio muestral, el coeficiente de variación sería tan grande que el nivel de confianza dentro de este método se haría casi nulo. Sin embargo, se puede dar que, el coeficiente de variación sea tan pequeño que los datos se vuelven confiables y, sólo en estos casos, se podría ejecutar el diseño del pavimento siguiendo esta metodología.

- Trayendo a colación, el Numero Estructural (SN, por sus siglas en ingles) de los diseños de pavimento como parámetro de rigidez, se resalta que entre mayores espesores contenga la estructura menor será la variación de este, con lo que se demuestra el alto grado de sensibilidad que posee esta variable, que si bien, a pesar de que es mínima su alteración, comparándolo con el método para la selección del CBR, las dimensiones del diseño se ven influenciadas en mayor medida.
- Siguiendo con el comportamiento que tienen cada una de las gráficas expuestas, es determinante la relación inversa que existe entre cada variable; es decir, que con el aumento o disminución del CBR de diseño el total de la estructura y del SN también aumentarán o disminuirán mostrándose así una dependencia de una variable sobre la otra.
- Finalmente, a medida que se trabaja con un numero de ejes superiores a los dos millones las estructuras no presentan mayores variaciones en sus espesores, por lo que se considera una estabilización en los parámetros que afectan a la estructura tal como es el

caso del tránsito. Es decir, que los métodos trabajan muy similares para una estructura de 5'000.000 y una de 11'000.000 como se evidencia en la

-
-
- *Tabla 47.*

Referencias

- AASHTO 93. (s.f.). *AASHTO guide for design of pavement structure*, American Association of State and Highway Transportation Officials.
- Castillo, C. (2014). *Revision de los métodos de diseño de pavimentos flexibles "AASHTO93" y el "MODELO ELASTICO LINEAL", mediante el modelo viscoelastico propuesto por la "ME PDG NCHRP 1-37A (3D-MOVE)"*. Bogotá.
- Circular, T. R. (2007). *Pavement Lessons Learned from the AASHO Road Test and Performance of the Interstate Highway System*. .
- Cueva, L., & Eusse, L. (2017). *Análisis del Impacto generado por la Selección de Correlaciones para calculo del Módulo Resiliente en el Diseño de Estructuras de Pavimento Flexibles*. Barranquilla.
- EHPM. (2005). *Coeficientes de Variacion e Intervalos de Confianza*.
- Higuera, C. H. (2011). *Nociones sobre metodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*. Tunja: Universidad Pedagogica y Tecnologica de colombia.
- Hugo Alexander, R. Q., & Fredy Alberto, R. L. (2007). *Metodologías de Diseño de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones*. Bogotá.
- INV E - 821. (2013). *Metodo de las Diferencias Acumuladas para la Delimitación de Unidades Homogeneas*. En I. N. VIAS. BOGOTA.
- Jiang, Y., Yuen, L., & Ren, J. (2015). *A numerical test method of California bearing ratio on graded crushed rocks using particle flow modeling*.
- Montejo, A. (2002). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá.

MORALES, A. R. (2015). *Diseño de Pavimento Asfáltico por el Metodo AASHTO-93 empleando el Software DISAASHTO-93*. Bogota.

Sanchez, F. (2016). *Diseño de Pavimentos Asfalticos para calles y carreteras*.

ANEXOS

Anexo 1. Resúmenes de CBR, SN y Espesores Diseño

Trecho Vial 1.

TABLA DE RESUMENES															
TRAMO	INSTITUTO DEL ASFALTO														
	CBR - 500000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	20	22,5	2,13		17,5	27,1	2,47		17,5	29,2	2,63		17,5	30,6	2,75
2	12	31,4	2,44		9	37,7	2,92		9	43,0	3,11		9	44,9	3,25
3	12,5	30,5	2,41		12,5	34,0	2,69		12,5	35,8	2,86		12,5	37,5	2,99
4	14,1	28,5	2,34		13,8	32,0	2,62		13,8	33,8	2,79		13,8	35,5	2,92
TRAMO	PROMEDIO ARITMETICO														
	CBR - 500000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	21,0	21,6	2,1		21,0	24,2	2,35		21,0	25,8	2,51		21,0	26,9	2,62
2	12,4	30,8	2,42		12,4	34,0	2,69		12,4	36,1	2,87		12,4	37,8	3
3	13,5	29,1	2,36		13,5	32,5	2,64		13,5	34,4	2,81		13,5	35,7	2,93
4	15,5	26,8	2,28		15,5	29,7	2,54		15,5	31,5	2,71		15,5	32,9	2,83
TRAMO	CRITERIO DE LA MEDIA														
	CBR - 500000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	17,9	24,5	2,2		17,9	27,1	2,45		17,9	28,7	2,61		17,9	30,0	2,73
2	10,4	34,0	2,53		10,4	37,7	2,82		10,4	39,8	3,00		10,4	41,5	3,13
3	12,5	30,5	2,41		12,5	34,0	2,69		12,5	35,8	2,86		12,5	37,5	2,99
4	13,8	28,8	2,35		13,8	32,0	2,62		13,8	33,8	2,79		13,8	35,5	2,92

Trecho Vial 2

TABLA DE RESUMENES															
TRAMO	INSTITUTO DEL ASFALTO														
	CBR - 500000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	14,5	28,2	2,33		13,6	32,2	2,63		13,6	34,1	2,80		13,6	35,7	2,93
2	5,7	46,0	2,95		5,5	51,7	3,31		5,5	54,5	3,51		5,5	56,7	3,66
3	23,8	23,4	2,03		19,8	25,9	2,39		19,8	27,5	2,55		19,8	28,9	2,66
4	12,0	31,4	2,44		11,8	35,1	2,73		11,8	37,0	2,90		11,8	38,6	3,03
5	15,5	26,8	2,28		14,4	31,1	2,59		14,4	33,0	2,76		14,4	34,3	2,88
6	13,4	29,4	2,37		11,3	36,0	2,76		11,3	37,8	2,93		11,3	39,5	3,06
7	11,0	33,1	2,50		10,8	36,8	2,79		10,8	39,0	2,97		10,8	40,6	3,10
8	22,9	23,4	2,06		19,5	25,9	2,40		19,5	27,5	2,55		19,5	28,9	2,67
9	15,3	27,1	2,29		14,8	30,5	2,57		14,8	32,4	2,74		14,8	33,7	2,86
PROMEDIO ARITMETICO															
TRAMO	CBR - 500000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	14,9	27,7	2,31		14,9	30,5	2,57		14,9	32,4	2,74		14,9	33,7	2,86
2	12,8	30,2	2,40		12,8	33,4	2,67		12,8	35,3	2,84		12,8	36,9	2,97
3	22,0	23,4	2,08		22,0	25,9	2,32		22,0	27,5	2,48		22,0	28,9	2,59
4	13,3	29,7	2,38		13,3	32,8	2,65		13,3	34,7	2,82		13,3	36,3	2,95
5	17,3	25,1	2,22		17,3	27,6	2,47		17,3	29,5	2,64		17,3	30,9	2,76
6	13,9	28,8	2,35		13,9	32,0	2,62		13,9	33,8	2,79		13,9	35,2	2,91
7	14,6	27,9	2,32		14,6	30,8	2,58		14,6	32,7	2,75		14,6	34,0	2,87
8	22,9	23,4	2,06		22,9	25,9	2,30		22,9	27,5	2,45		22,9	28,9	2,56
9	15,8	26,5	2,27		15,8	29,4	2,53		15,8	31,2	2,70		15,8	32,6	2,82
CRITERIO DE LA MEDIA															
TRAMO	CBR - 500000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	13,6	29,1	2,36		13,6	32,2	2,63		13,6	34,1	2,80		13,6	35,7	2,93
2	5,0	48,6	3,04		5,0	53,8	3,38		5,0	56,8	3,59		5,0	59,0	3,74
3	17,7	24,5	2,20		17,7	27,4	2,46		17,7	28,9	2,62		17,7	30,3	2,74
4	10,9	33,1	2,50		10,9	36,5	2,78		10,9	38,7	2,96		10,9	40,3	3,09
5	15,1	27,4	2,30		15,1	30,2	2,56		15,1	32,1	2,73		15,1	33,5	2,85
6	12,1	31,1	2,43		12,1	34,5	2,71		12,1	36,4	2,88		12,1	38,0	3,01
7	9,8	35,1	2,57		9,8	38,8	2,86		9,8	41,0	3,04		9,8	42,9	3,18
8	17,7	24,5	2,20		17,7	27,4	2,46		17,7	28,9	2,62		17,7	30,3	2,74
9	14,8	27,7	2,31		14,8	30,5	2,57		14,8	32,4	2,74		14,8	33,7	2,86

Trecho Vial 3

TABLA DE RESUMENES															
TRAMO	INSTITUTO DEL ASFALTO														
	CBR - 500000	ESTRUCTUR A (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000	ESTRUCTUR A (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	15,1	27,4	2,30		14,6	30,8	2,58		14,6	32,7	2,75		14,6	34,3	2,88
2	11,5	32,3	2,47		11,3	36,0	2,76		11,3	38,1	2,94		11,3	39,8	3,07
3	14,7	27,7	2,31		14,5	31,1	2,59		14,5	33,0	2,76		14,5	34,3	2,88
TRAMO	PROMEDIO ARITMETICO														
	CBR - 500000	ESTRUCTUR A (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000	ESTRUCTUR A (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	15,3	27,1	2,29		15,3	29,9	2,55		15,3	31,8	2,72		15,3	33,2	2,84
2	12,6	30,5	2,41		12,6	33,7	2,68		12,6	35,5	2,85		12,6	37,2	2,98
3	15,7	26,5	2,27		15,7	29,7	2,54		15,7	31,2	2,70		15,7	32,6	2,82
TRAMO	CRITERIO DE LA MEDIA														
	CBR - 500000	ESTRUCTUR A (cm)	SN TOTAL		CBR - 1000000	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL		CBR - 1500000	ESTRUCTUR A (cm)	SN TOTAL		CBR - 2000000 EJES	ESTRUCTURA (cm)	SN TOTAL
1	13,8	28,8	2,35		13,8	32,0	2,62		13,8	33,8	2,79		13,8	35,2	2,91
2	11,5	32,3	2,47		11,5	35,7	2,75		11,5	37,8	2,93		11,5	39,5	3,06
3	14,3	28,2	2,33		14,3	31,4	2,60		14,3	33,2	2,77		14,3	34,6	2,89

Trecho Vial 4

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			ESPESOR DE PAVIMENTO		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	2,41	2,27	2,36	29,7	26,2	28,5
	MEDIA ARITMETICA	2,32	2,25	2,26	27,4	25,7	25,9
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,43	2,32	2,37	30,2	27,4	28,7
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			ESPESOR DE PAVIMENTO		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	2,74	2,65	2,67	34,1	31,8	32,3
	MEDIA ARITMETICA	2,64	2,52	2,52	31,6	28,5	28,5
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,74	2,59	2,65	34,1	30,3	31,8
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			ESPESOR DE PAVIMENTO		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	2,92	2,82	2,84	36,3	33,8	34,3
	MEDIA ARITMETICA	2,81	2,69	2,69	33,5	30,5	30,5
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,92	2,76	2,83	36,3	32,2	34,0
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO			ESPESOR DE PAVIMENTO		
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (87,5%)	3,02	2,92	2,94	37,3	34,7	35,8
	MEDIA ARITMETICA	2,91	2,78	2,79	34,5	31,2	31,4
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,01	2,86	2,93	37,0	33,2	35,0

Trecho Vial 5

NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	2,41	2,18	2,41	2,37	2,30	2,56	2,37	2,26	2,39	2,15
	MEDIA ARITMETICA	2,41	2,15	2,37	2,36	2,29	2,46	2,19	2,27	2,32	2,09
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,61	2,40	2,45	2,41	2,35	2,60	2,40	2,31	2,38	2,18
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO(87,5%)	3,17	2,70	2,75	2,66	2,67	2,86	2,73	2,64	2,69	2,45
	MEDIA ARITMETICA	2,69	2,41	2,65	2,63	2,56	2,74	2,44	2,53	2,59	2,34
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,90	2,68	2,73	2,69	2,61	2,90	2,67	2,58	2,65	2,43
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO(87,5%)	3,36	2,87	2,93	2,83	2,84	3,05	2,91	2,81	2,86	2,61
	MEDIA ARITMETICA	2,86	2,56	2,82	2,80	2,72	2,92	2,60	2,69	2,76	2,49
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,09	2,85	2,91	2,86	2,78	3,08	2,85	2,75	2,83	2,59
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO(87,5%)	3,51	3,00	3,06	2,96	2,96	3,18	3,04	2,93	2,99	2,73
	MEDIA ARITMETICA	2,99	2,68	2,94	2,93	2,84	3,01	2,72	2,81	2,88	2,61
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,23	2,98	3,04	2,99	2,91	3,22	2,97	2,87	2,95	2,71

CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	29,7	23,9	29,7	28,7	26,9	33,6	28,7	25,9	29,2	23,4
MEDIA ARITMETICA	29,7	23,4	28,7	28,5	26,7	31,0	24,1	26,2	27,4	23,4
CRITERIO DE LA MEDIA	34,8	29,5	30,8	29,7	28,2	34,6	29,5	27,2	29,0	23,9
CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
INSTITUTO DEL ASFALTO(87,5%)	45,1	33,1	34,4	32,1	32,3	37,2	33,9	31,6	32,8	26,7
MEDIA ARITMETICA	32,8	26,2	31,8	31,3	29,5	34,1	26,5	28,8	30,3	26,2
CRITERIO DE LA MEDIA	38,2	32,6	33,9	32,8	30,8	38,2	32,3	30,0	31,8	26,2
CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
INSTITUTO DEL ASFALTO(87,5%)	47,5	35,0	36,6	34,0	34,3	39,6	36,1	33,5	34,8	28,4
MEDIA ARITMETICA	34,8	27,9	33,8	33,3	31,2	36,3	28,2	30,5	32,2	27,9
CRITERIO DE LA MEDIA	40,7	34,5	36,1	34,8	32,7	40,4	34,5	32,0	34,0	27,9
CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO (CM)									
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
INSTITUTO DEL ASFALTO(87,5%)	49,8	36,8	38,3	35,7	35,7	41,4	37,8	35,0	36,5	29,9
MEDIA ARITMETICA	36,5	28,9	35,2	35,0	32,7	37,0	29,6	31,9	33,7	28,9
CRITERIO DE LA MEDIA	42,6	36,3	37,8	36,5	34,5	42,4	36,0	33,5	35,5	29,4

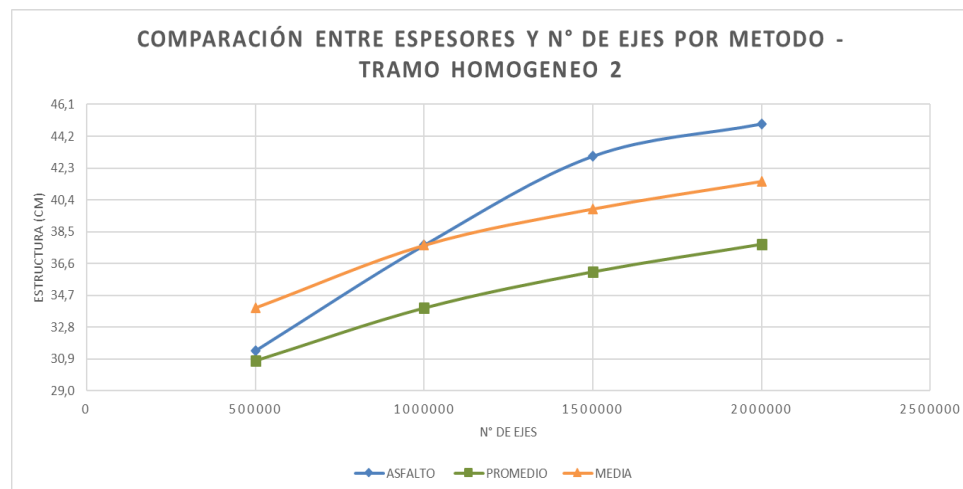
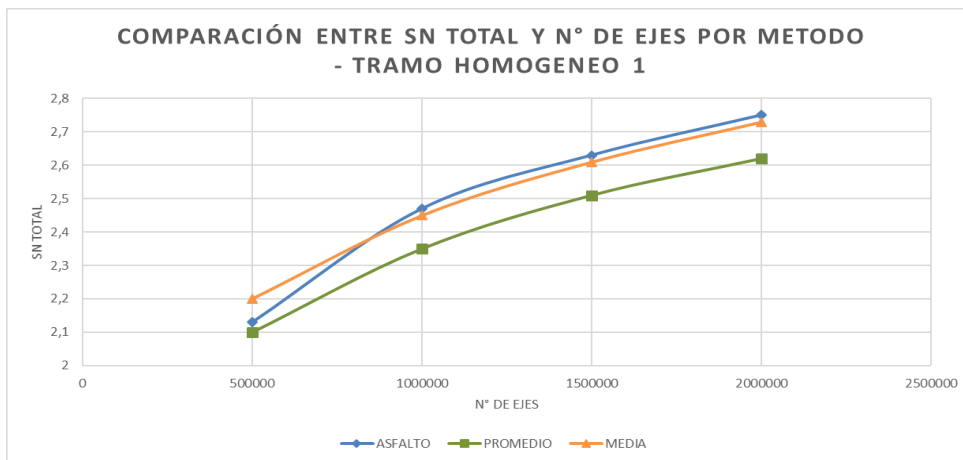
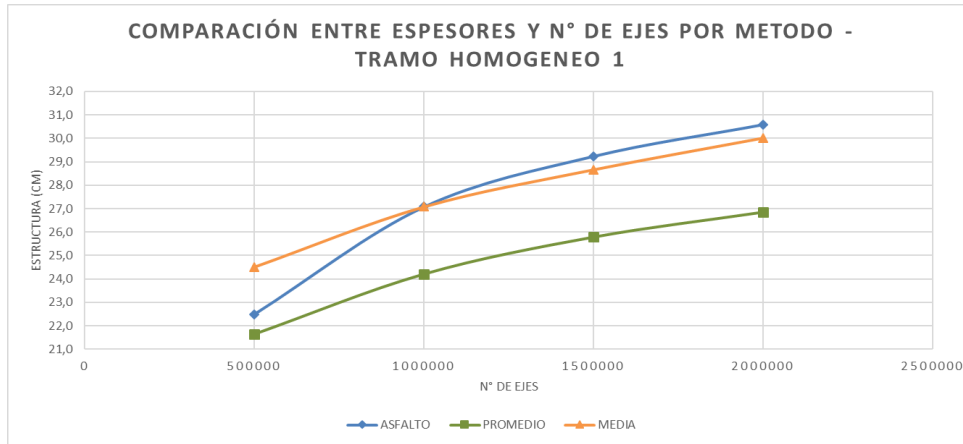
Trecho Vial 5 (Recalculado)

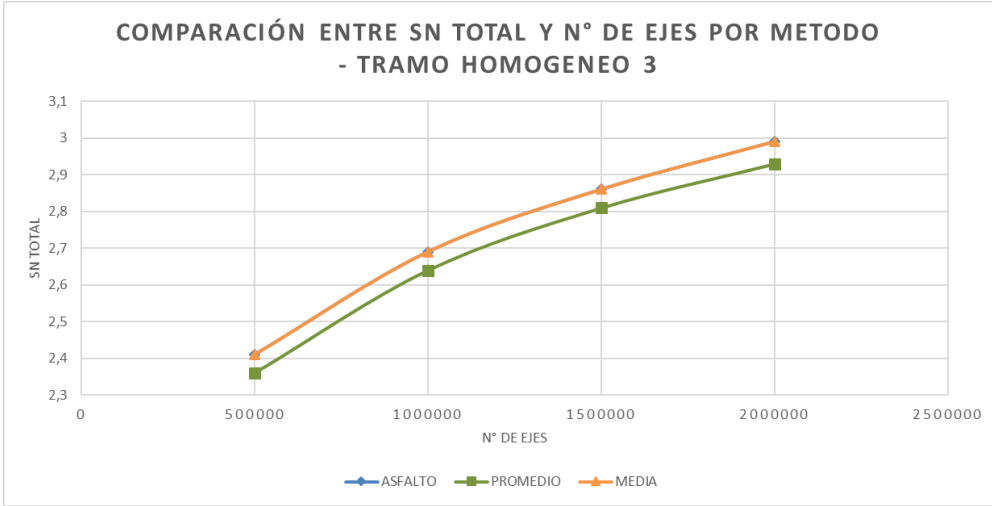
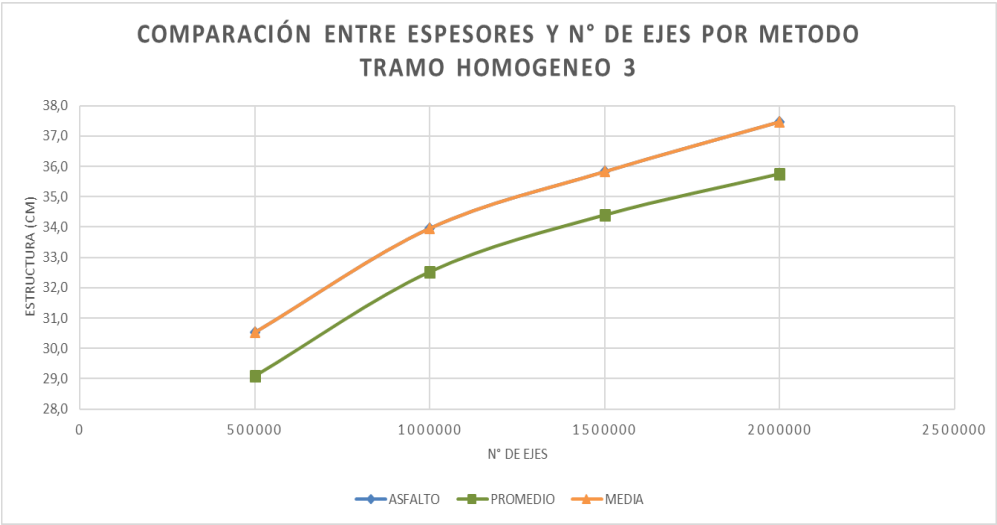
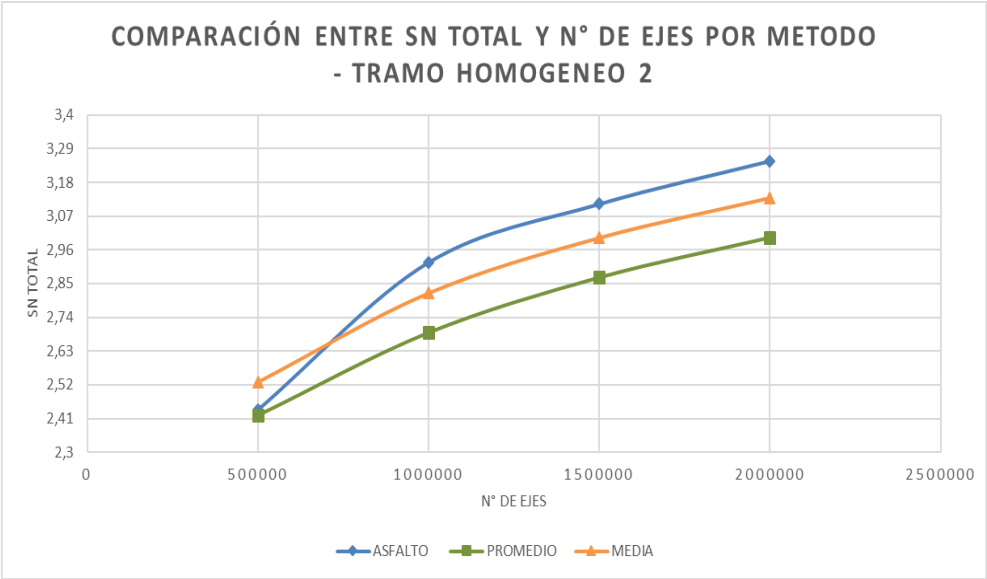
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	2,41	2,18	2,41	2,37	2,30	2,56	2,37	2,26	2,39	2,15
	MEDIA ARITMETICA	2,41	2,15	2,37	2,36	2,29	2,46	2,19	2,27	2,32	2,09
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,61	2,40	2,45	2,41	2,35	2,60	2,40	2,31	2,38	2,18
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	3,17	2,70	2,75	2,66	2,67	2,86	2,73	2,64	2,69	2,45
	MEDIA ARITMETICA	2,69	2,41	2,65	2,63	2,56	2,74	2,44	2,53	2,59	2,34
	CRITERIO DE LA MEDIA	2,90	2,68	2,73	2,69	2,61	2,90	2,67	2,58	2,65	2,43
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	3,36	2,87	2,93	2,83	2,84	3,05	2,91	2,81	2,86	2,61
	MEDIA ARITMETICA	2,86	2,56	2,82	2,80	2,72	2,92	2,60	2,69	2,76	2,49
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,09	2,85	2,91	2,86	2,78	3,08	2,85	2,75	2,83	2,59
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	SN DE DISEÑO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	3,51	3,00	3,06	2,96	2,96	3,18	3,04	2,93	2,99	2,73
	MEDIA ARITMETICA	2,99	2,68	2,94	2,93	2,84	3,01	2,72	2,81	2,88	2,61
	CRITERIO DE LA MEDIA	3,23	2,98	3,04	2,99	2,91	3,22	2,97	2,87	2,95	2,71

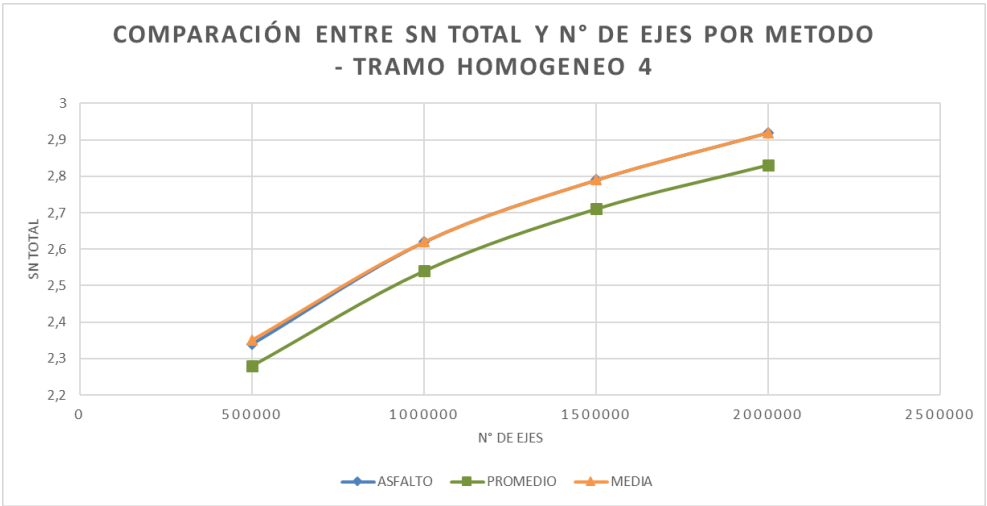
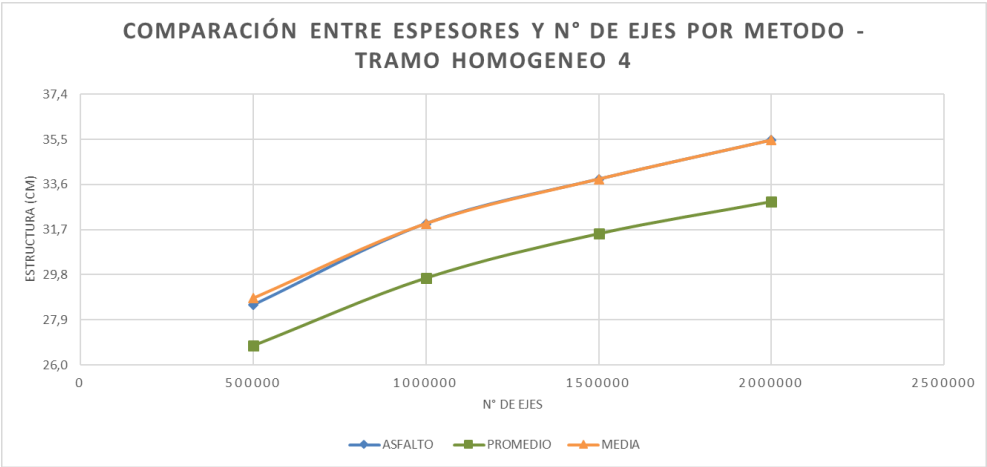
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	37,0	32,0	37,0	36,0	35,0	41,0	36,0	34,0	37,0	25,0
	MEDIA ARITMETICA	37,0	25,0	36,0	36,0	34,0	39,0	32,0	34,0	35,0	29,0
	CRITERIO DE LA MEDIA	43,0	37,0	38,0	37,0	36,0	42,0	37,0	35,0	37,0	32,0
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	57,0	45,0	48,0	44,0	44,0	49,0	46,0	43,0	45,0	38,0
	MEDIA ARITMETICA	45,0	25,0	44,0	43,0	41,0	46,0	38,0	41,0	42,0	36,0
	CRITERIO DE LA MEDIA	50,0	44,0	46,0	45,0	43,0	50,0	44,0	42,0	44,0	38,0
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
1500000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	62,0	49,0	51,0	48,0	48,0	54,0	50,0	48,0	49,0	43,0
	MEDIA ARITMETICA	49,0	25,0	48,0	47,0	45,0	50,0	42,0	45,0	46,0	39,0
	CRITERIO DE LA MEDIA	55,0	49,0	50,0	49,0	47,0	55,0	49,0	46,0	48,0	42,0
NUMERO DE EJES	CRITERIO DE DISEÑO	ESPESOR DE PAVIMENTO									
		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8	TRAMO 9	TRAMO 10
2000000	INSTITUTO DEL ASFALTO (75%)	65,0	52,0	54,0	51,0	51,0	57,0	54,0	51,0	52,0	46,0
	MEDIA ARITMETICA	51,7	25,0	51,0	51,0	48,0	53,0	45,0	48,0	49,0	43,0
	CRITERIO DE LA MEDIA	57,8	51,5	54,0	52,0	50,0	58,0	52,0	49,0	51,0	45,0

Anexos 2. Graficas Comparativas

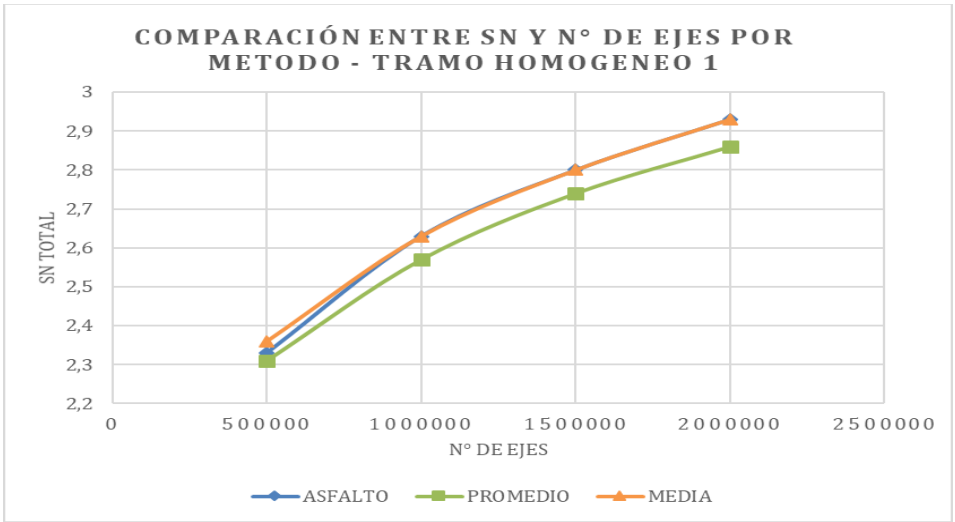
Trecho Vial 1

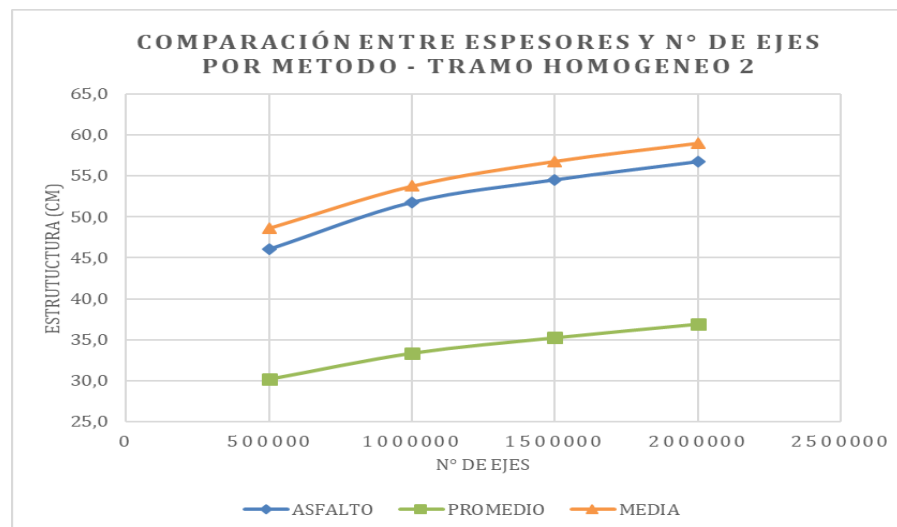
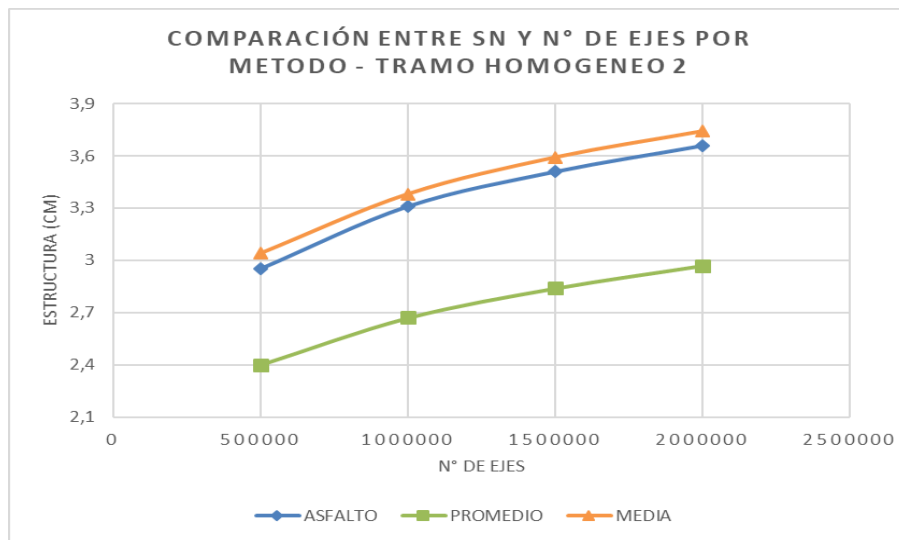
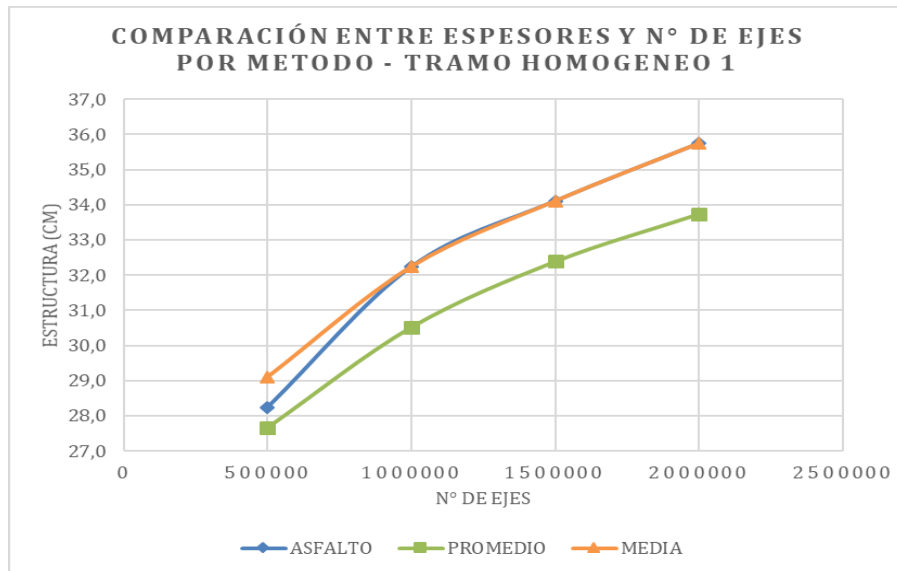


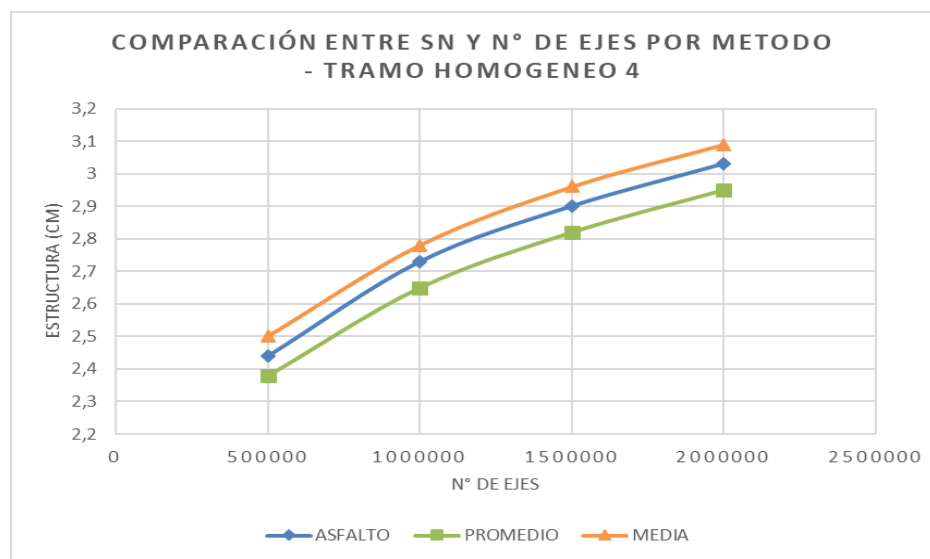
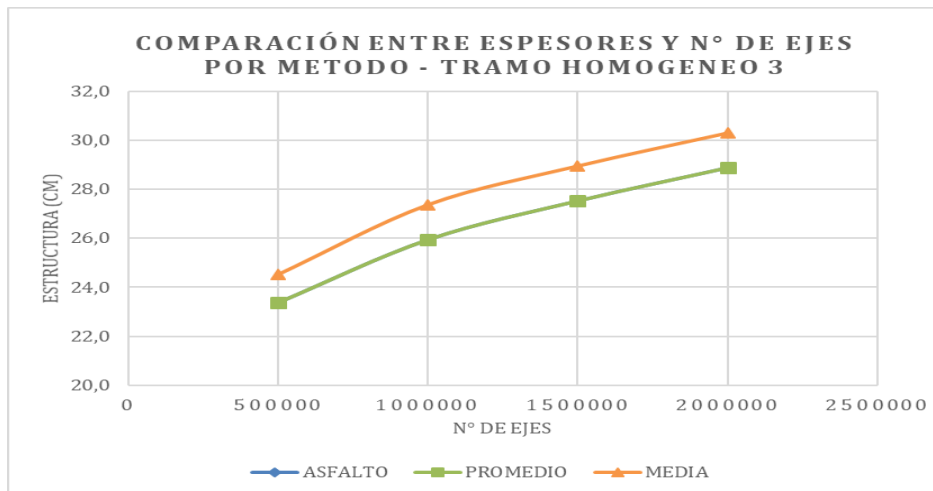
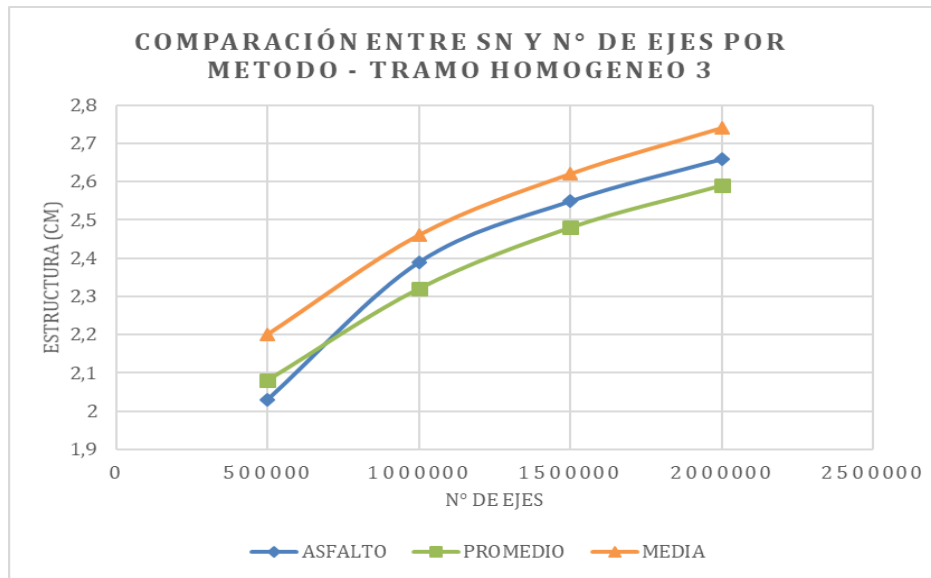


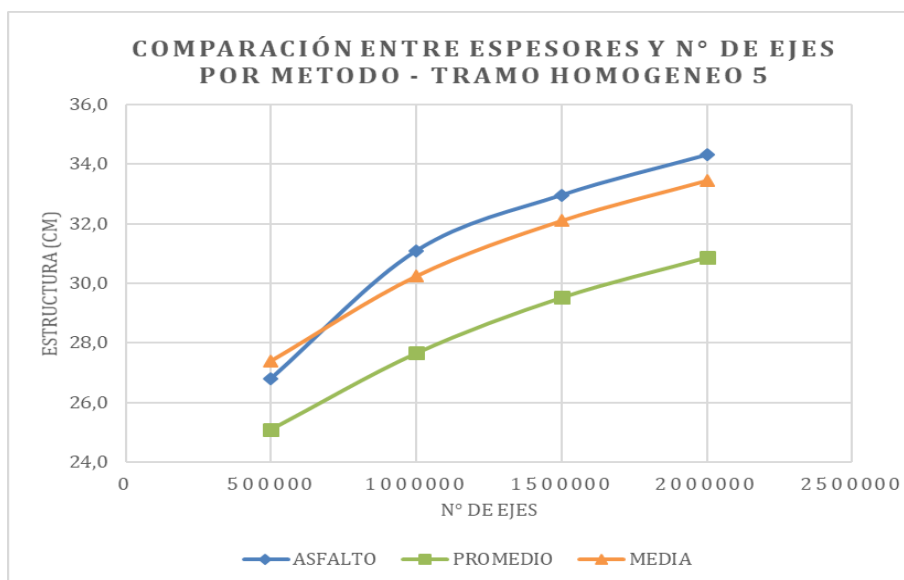
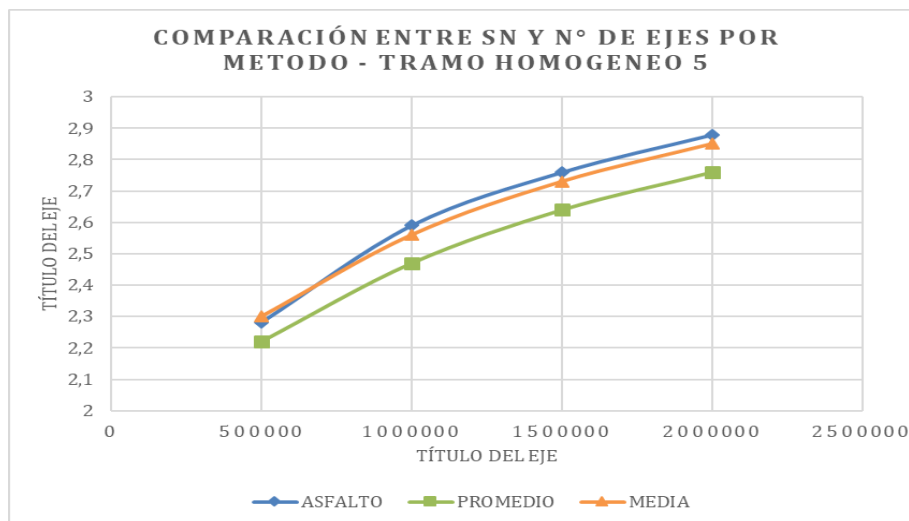
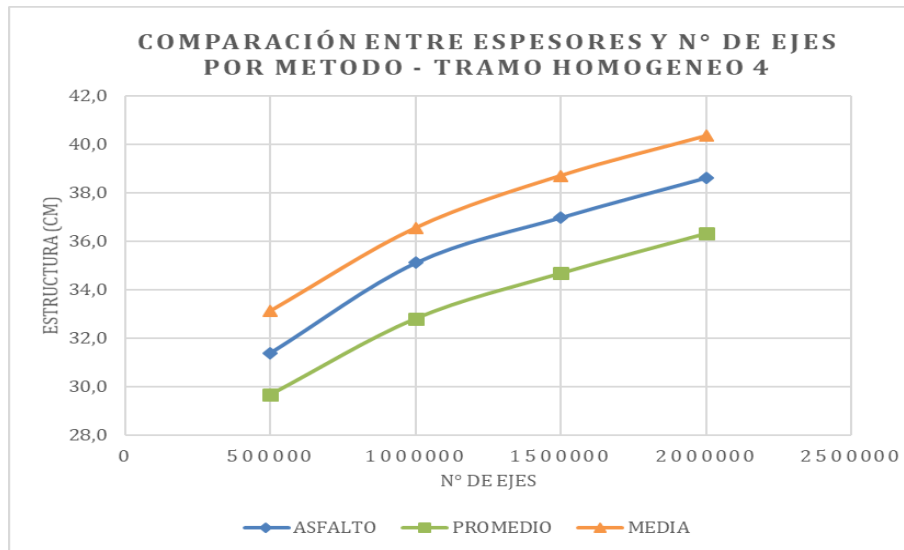


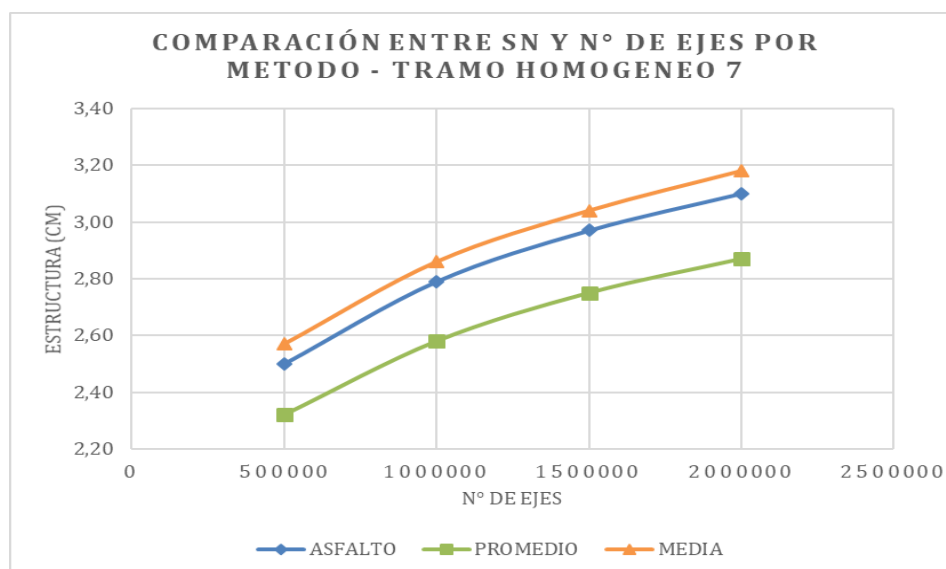
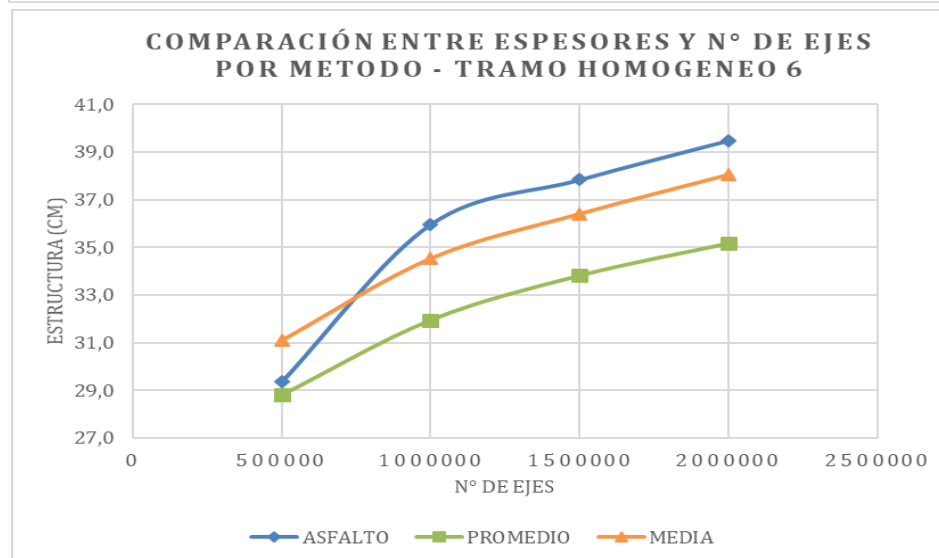
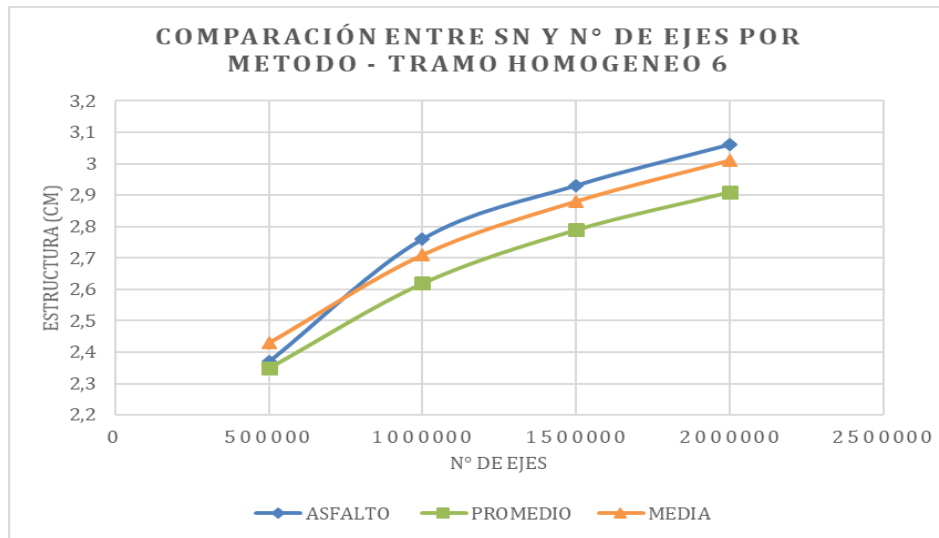
Trecho Vial 2

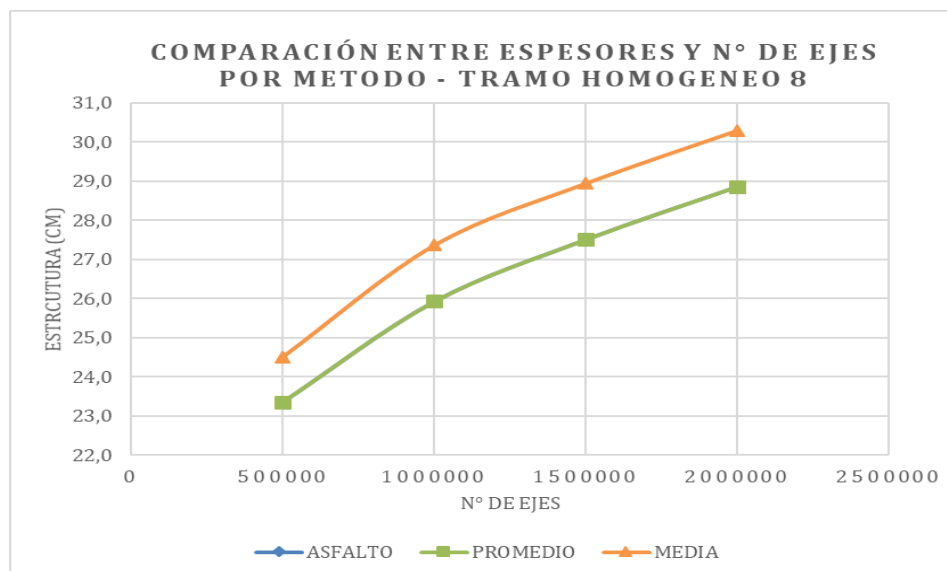
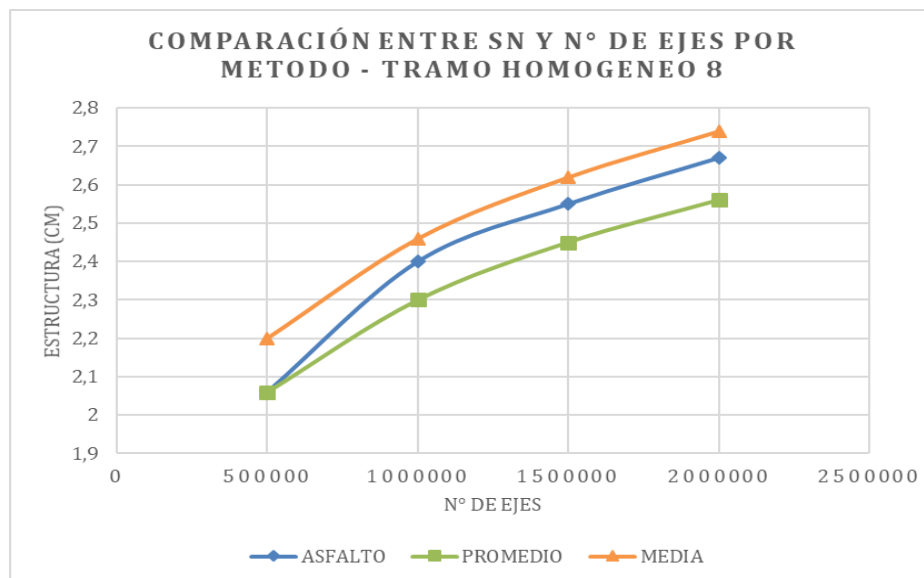
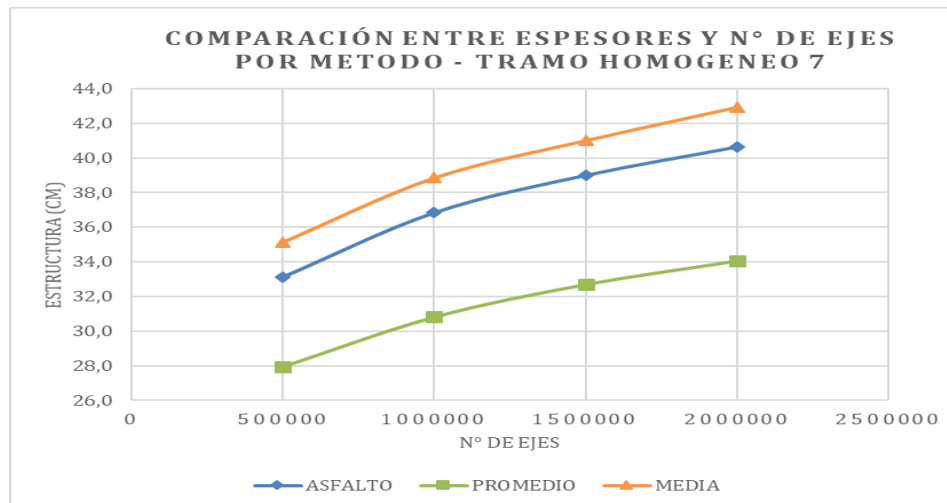


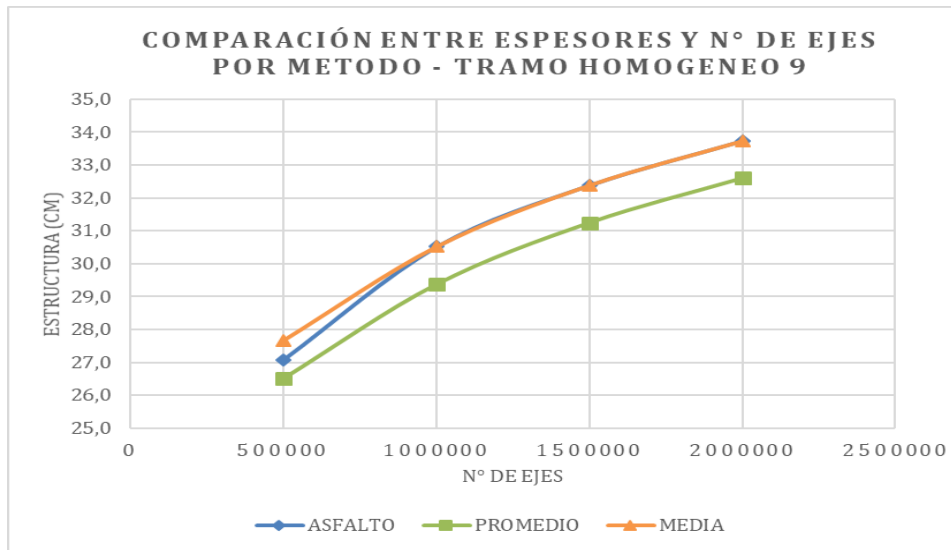
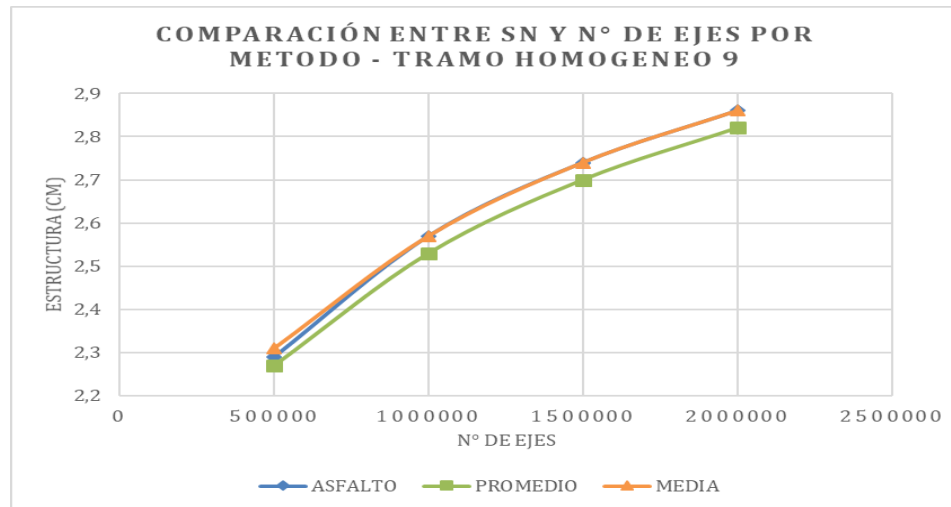




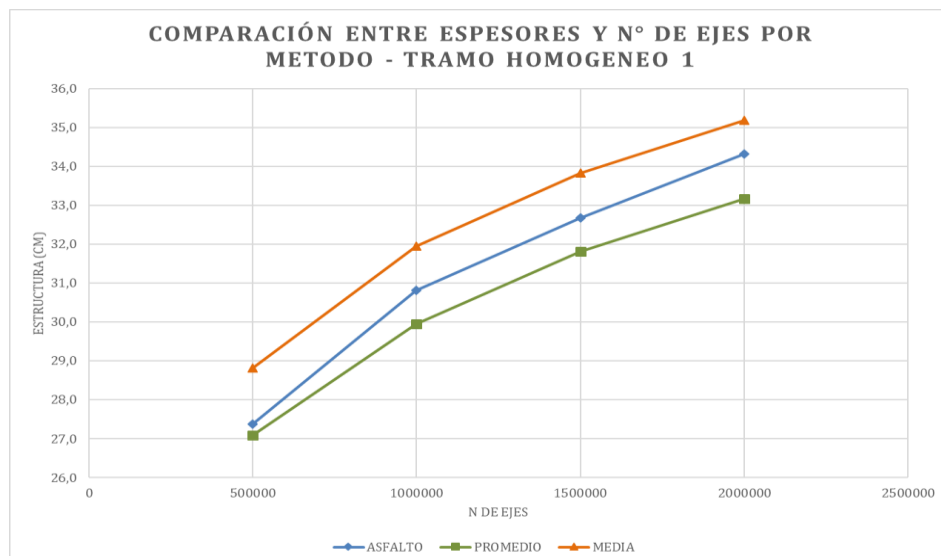


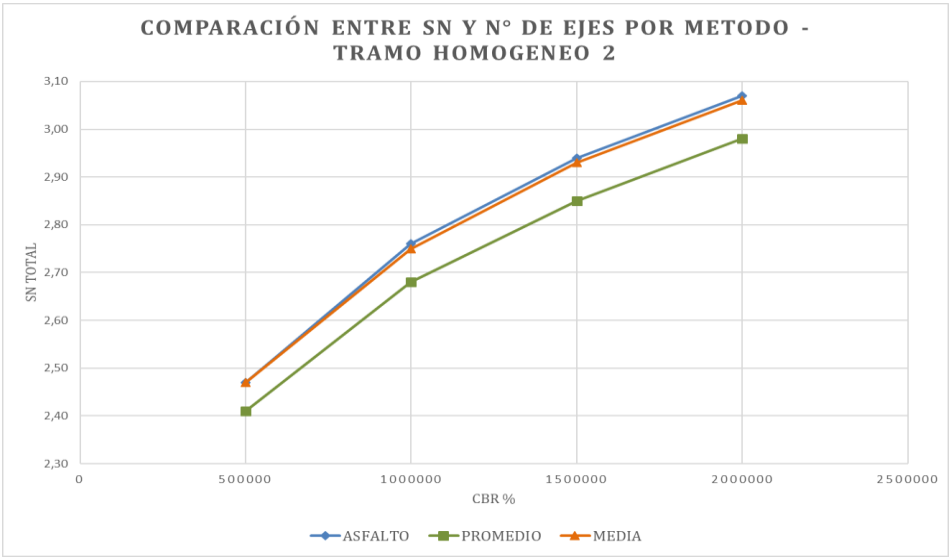
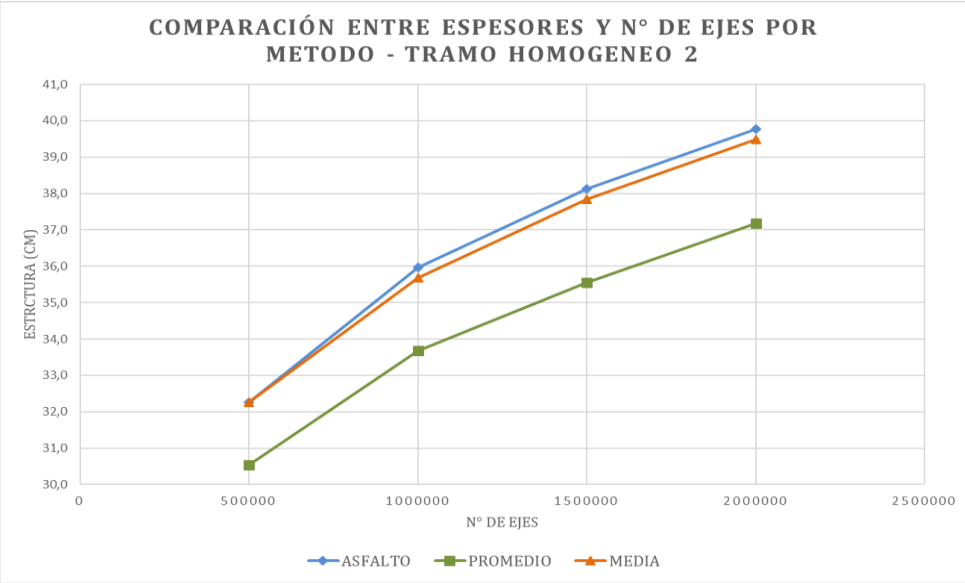
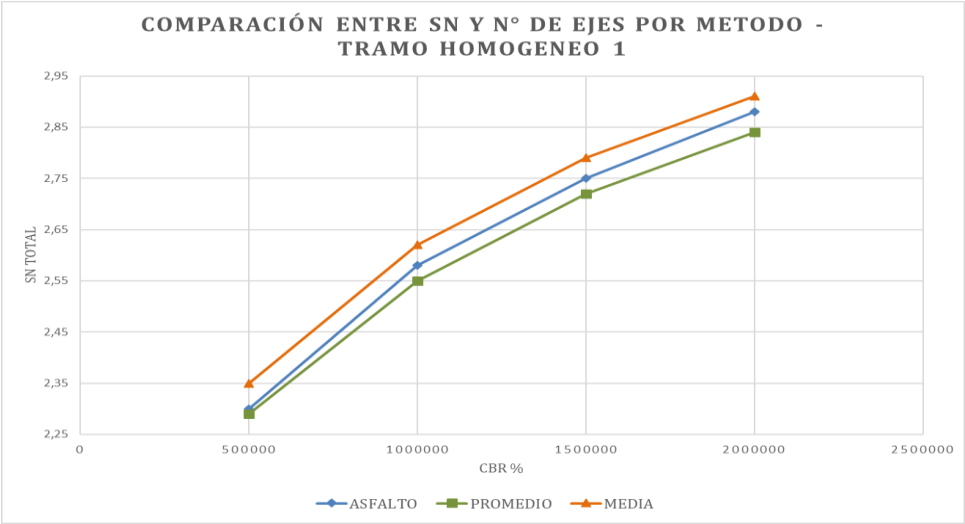


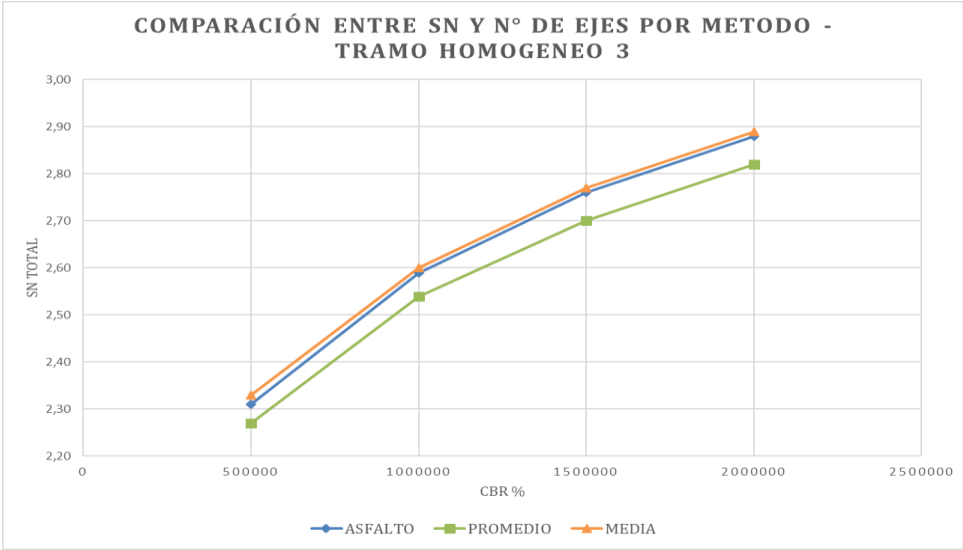
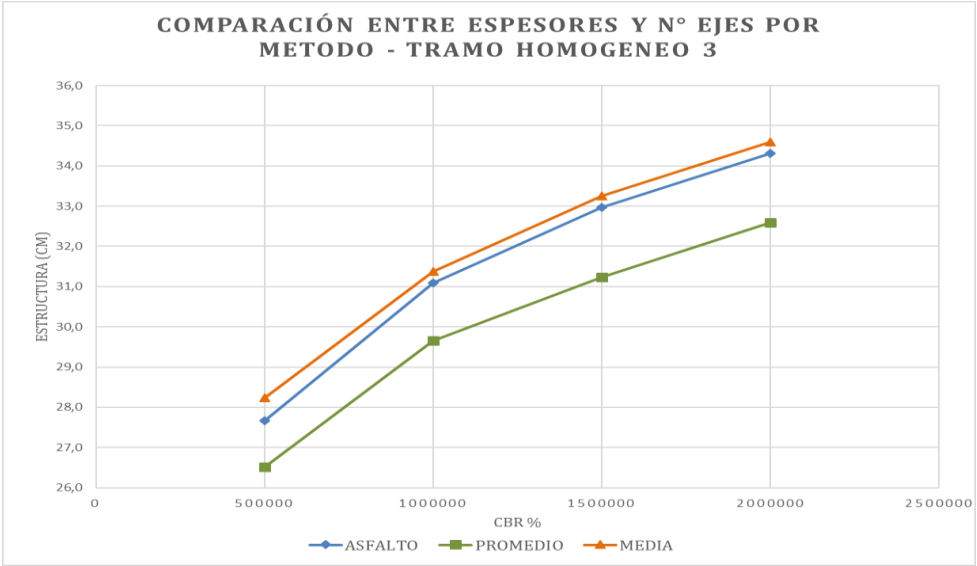




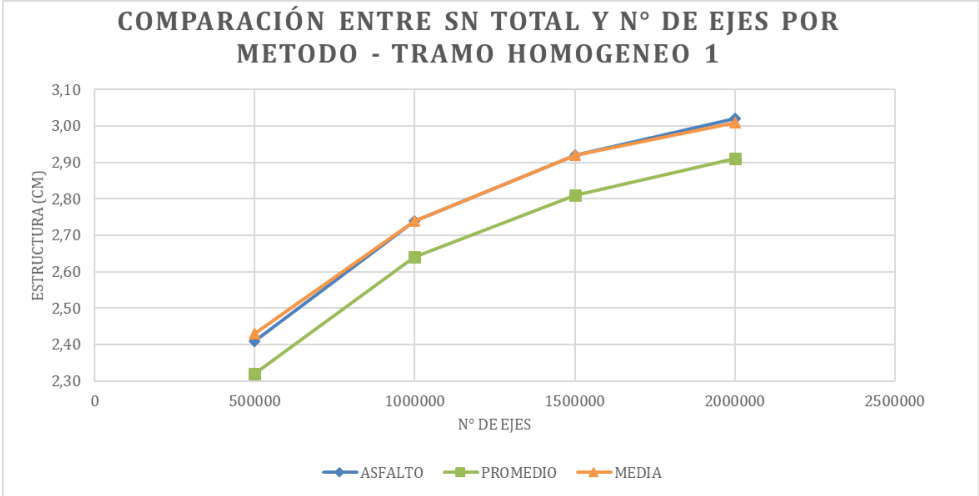
Trecho Vial 3

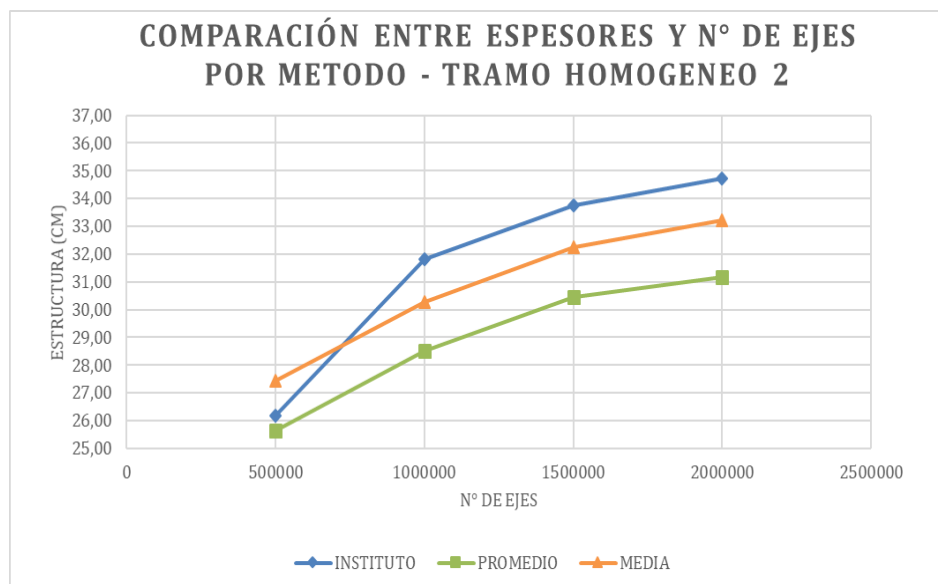
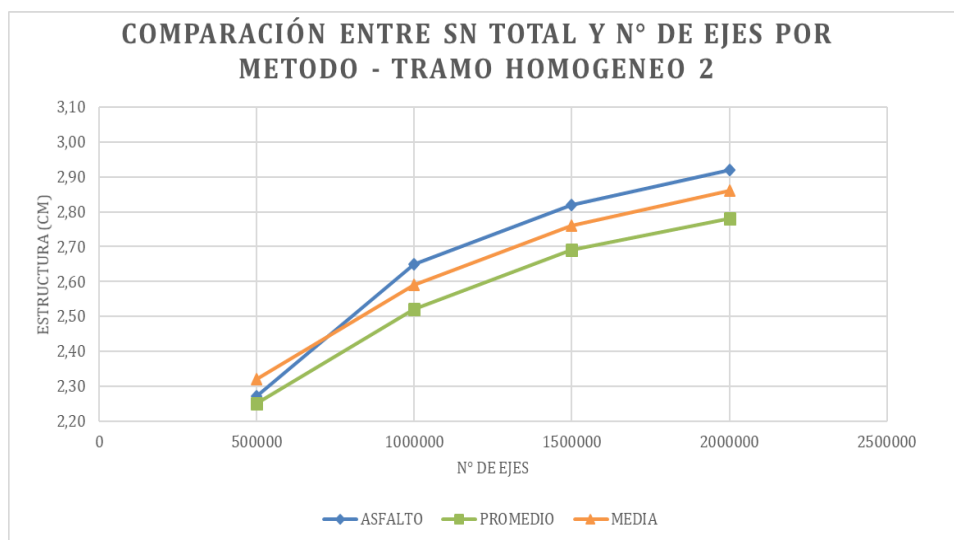
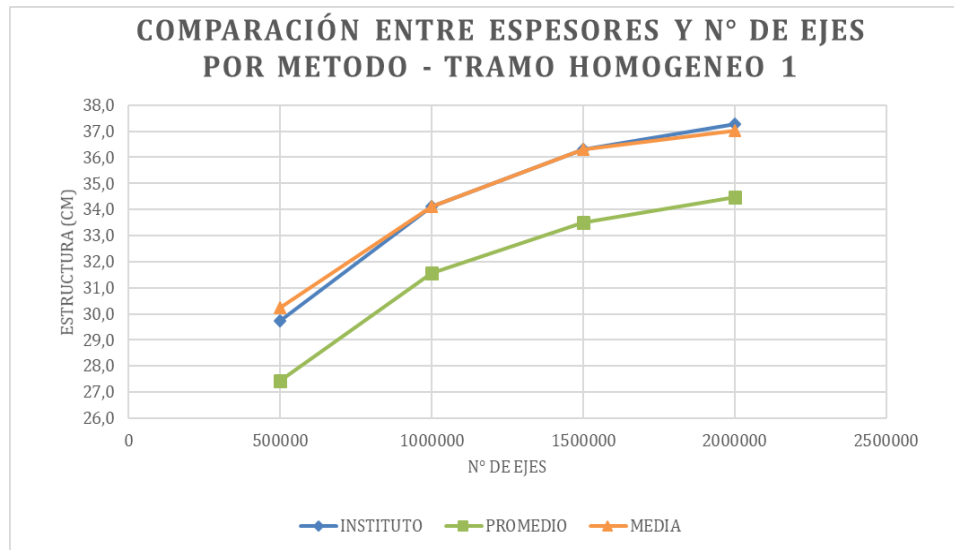


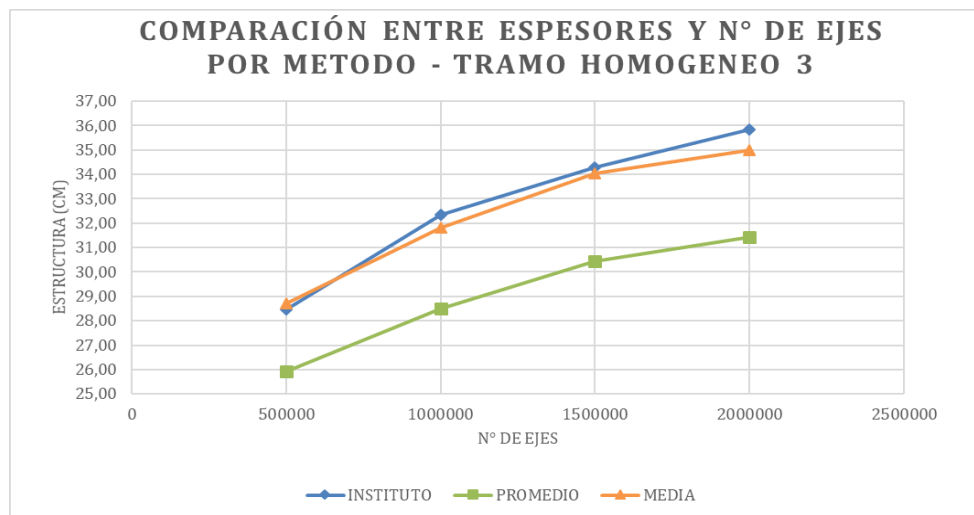
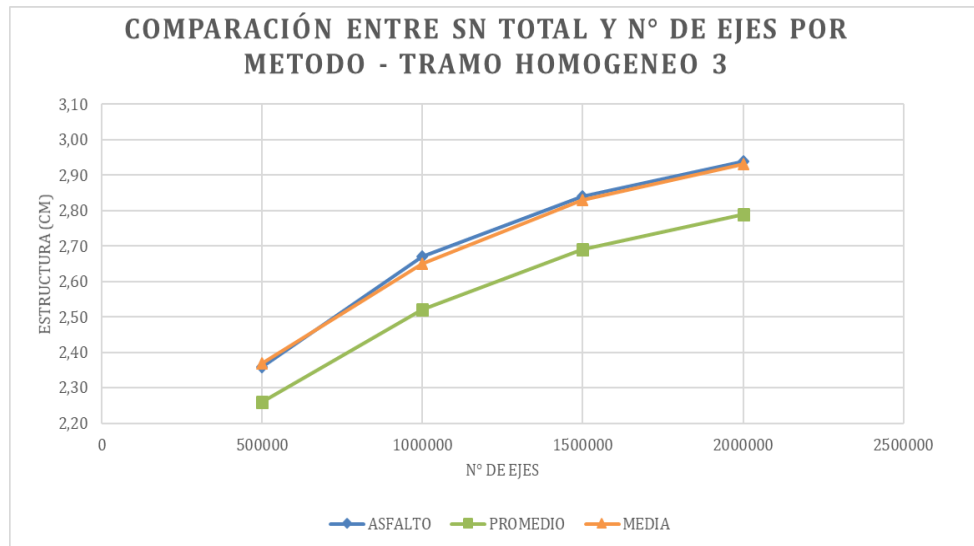




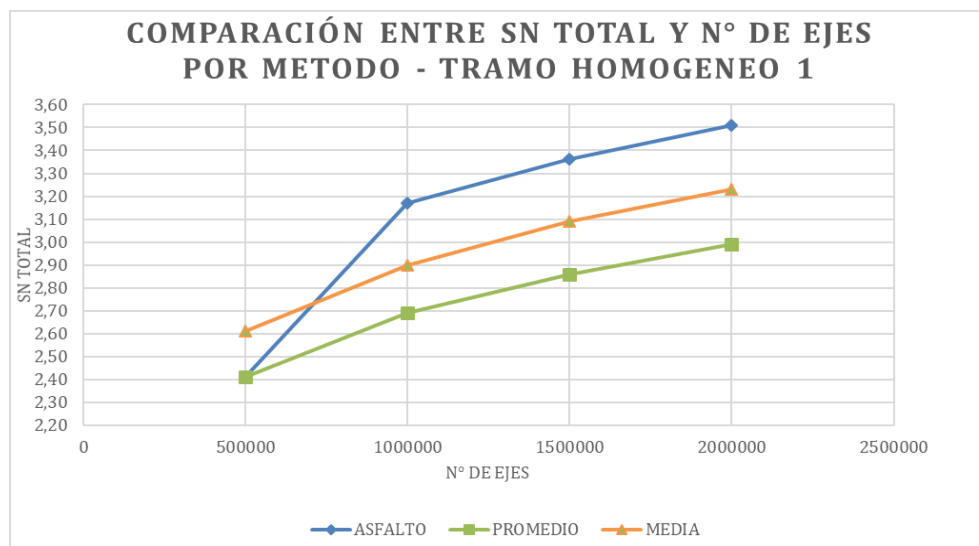
Trecho Vial 4

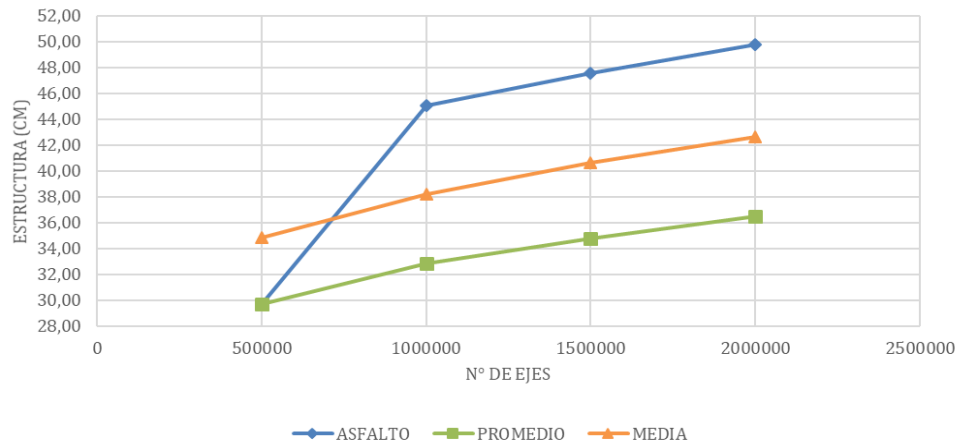
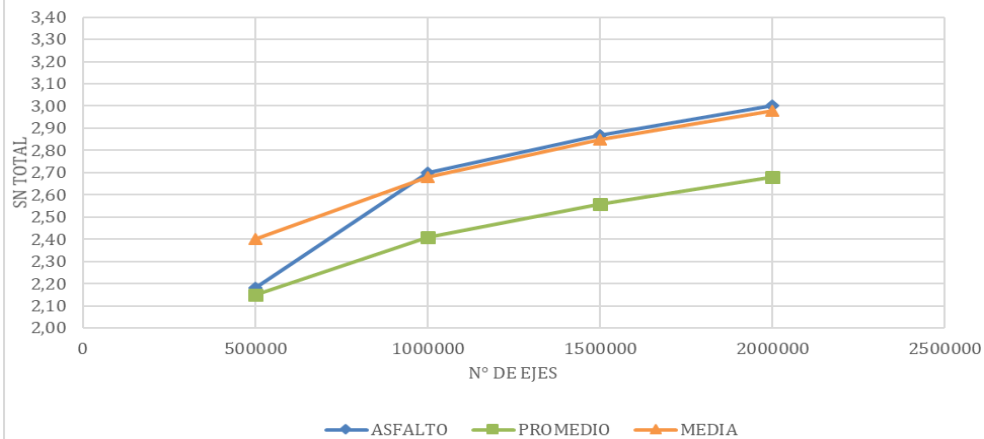
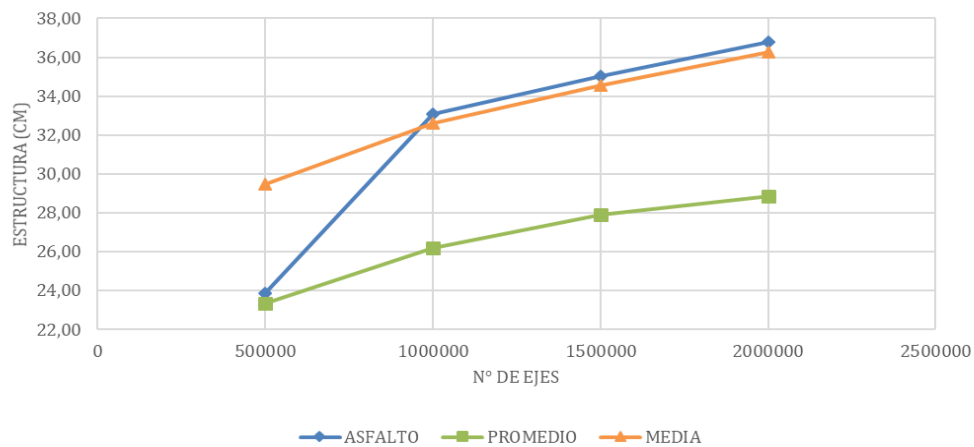


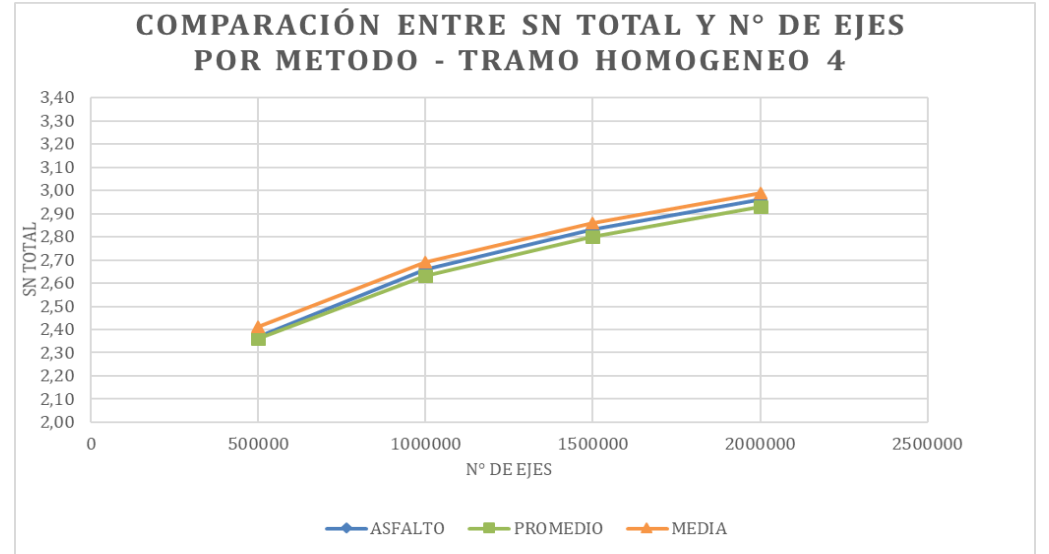
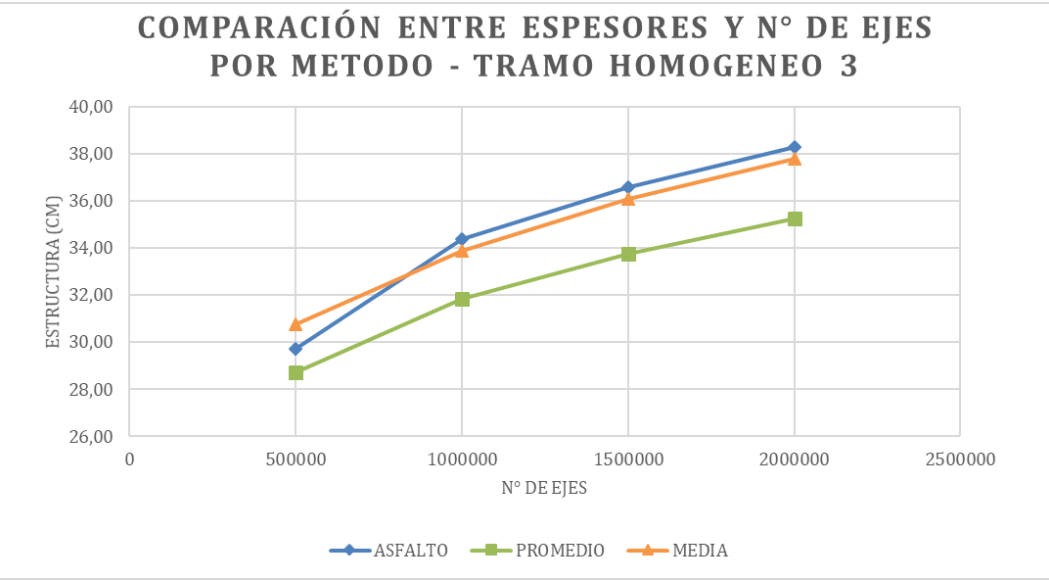
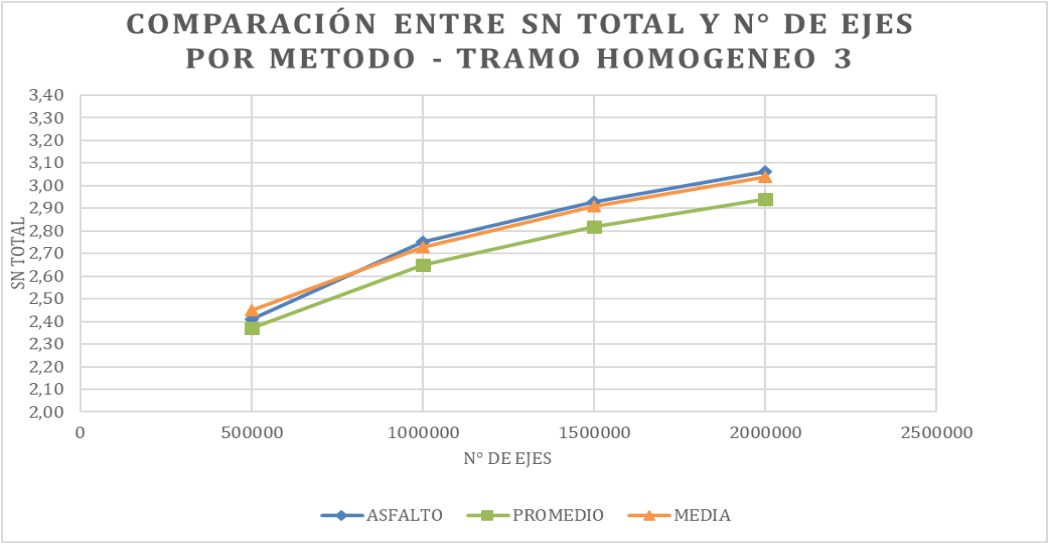


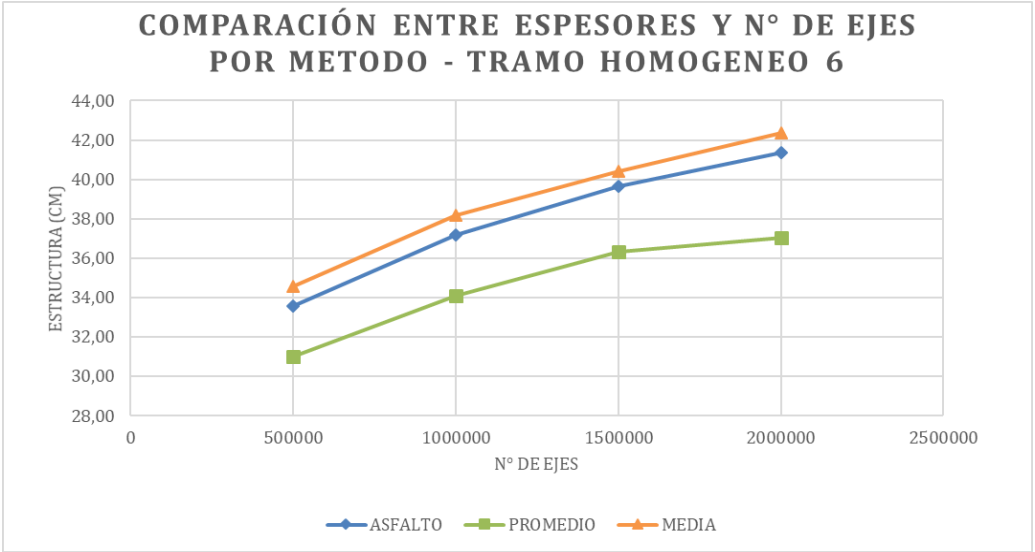
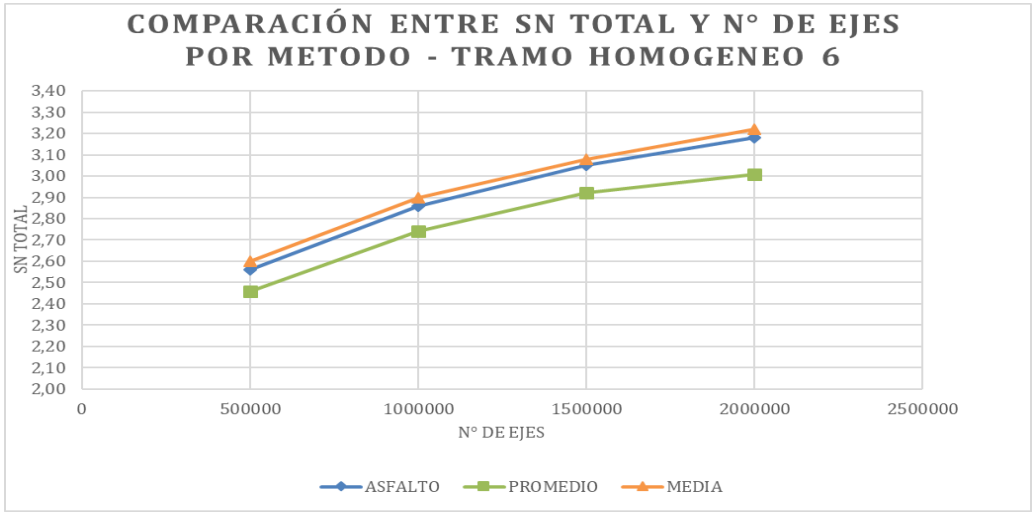
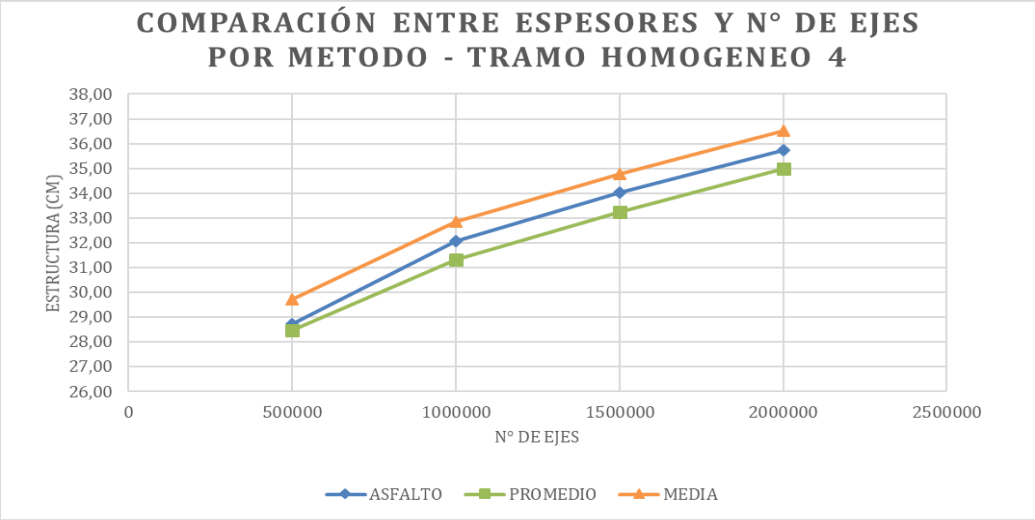


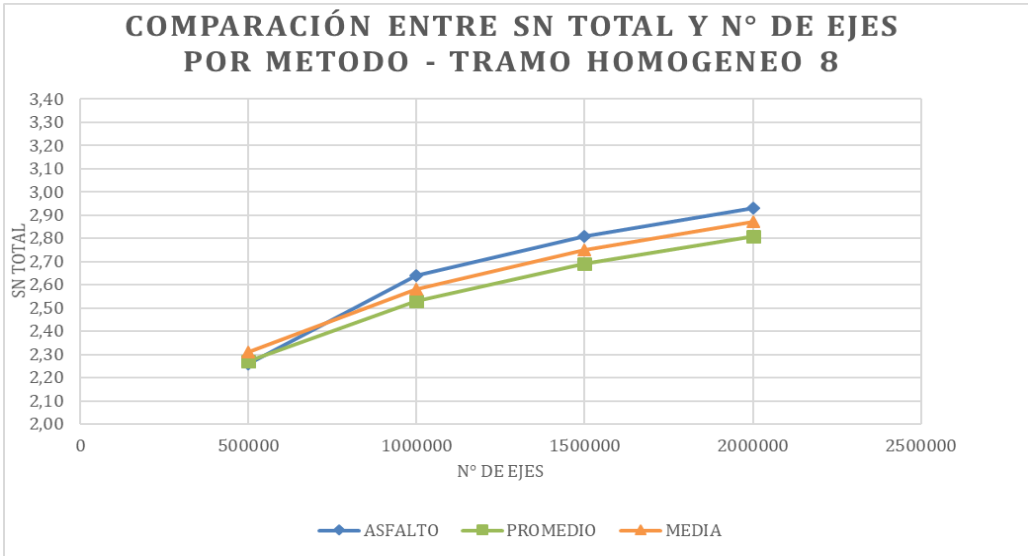
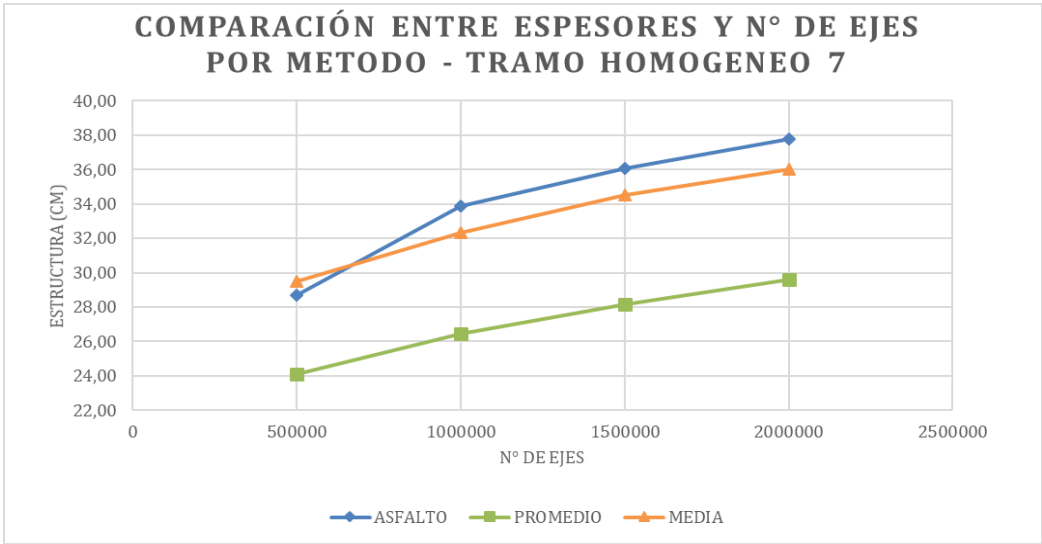
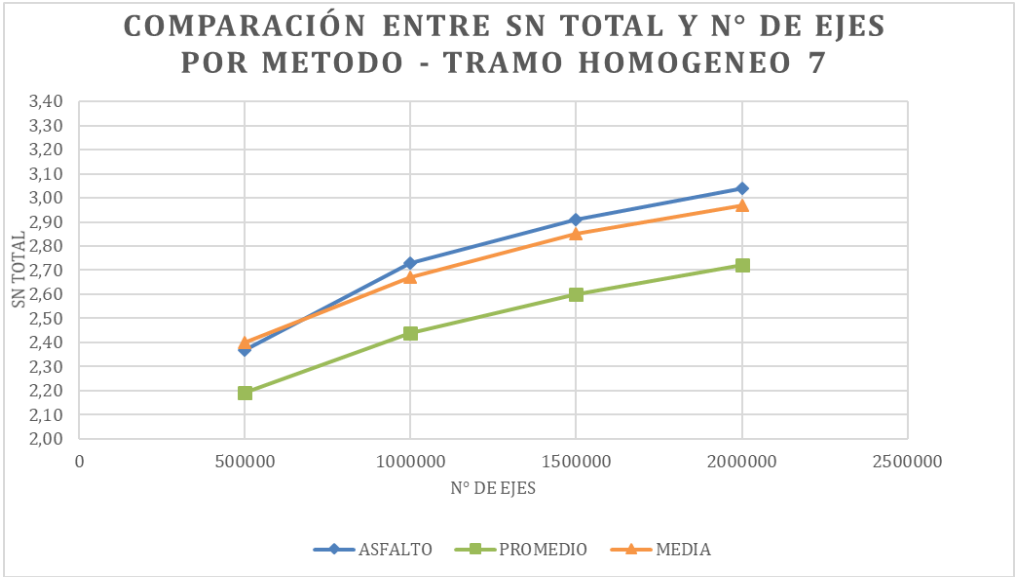
Trecho Vial 5

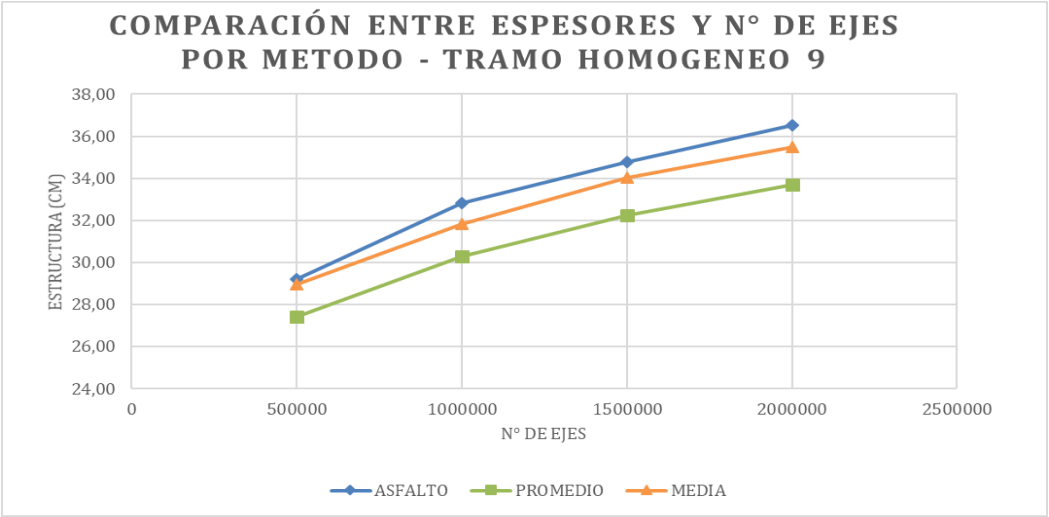
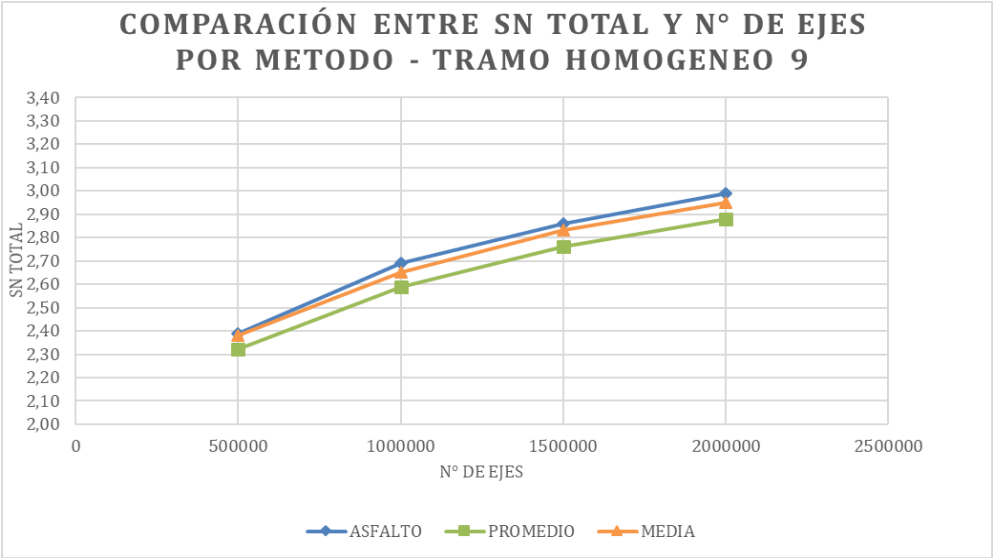
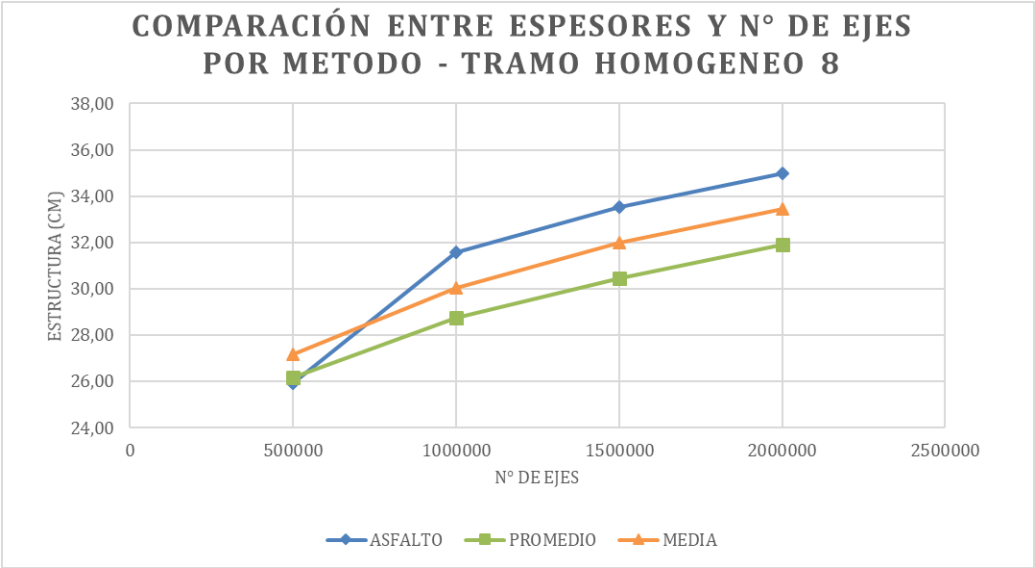


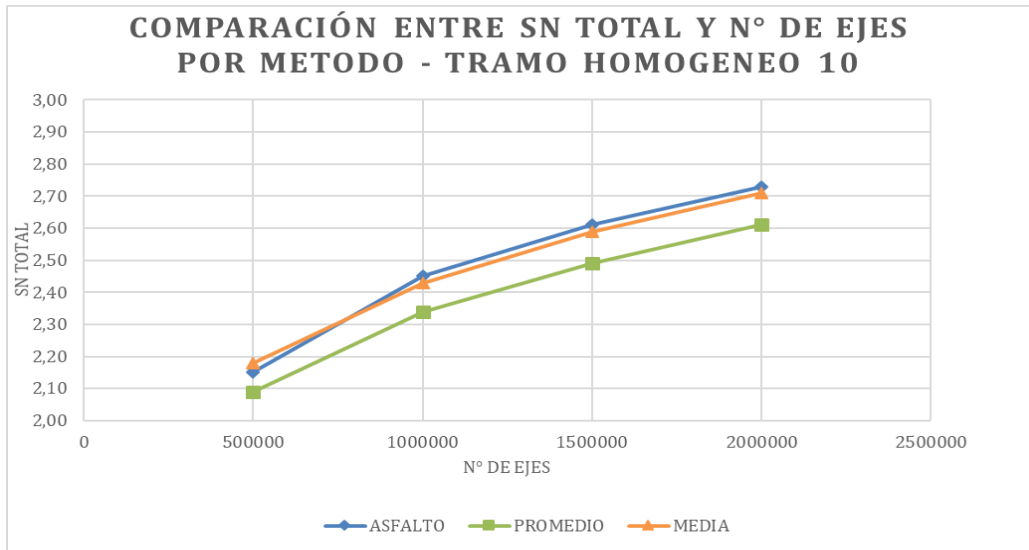
**COMPARACIÓN ENTRE ESPESORES Y N° DE EJES
POR METODO - TRAMO HOMOGENEO 1****COMPARACIÓN ENTRE SN TOTAL Y N° DE EJES
POR METODO - TRAMO HOMOGENEO 2****COMPARACIÓN ENTRE ESPESORES Y N° DE EJES
POR METODO - TRAMO HOMOGENEO 2**











Tramo homogéneo 5 (PROMEDIO 500000)



BISAR 3.0 - Block Report

ejercicio de Andrea y Rosa

System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel

Structure				Loads							
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)
1	0,146	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00
2	0,088	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00
3	0,033	1,070E+02	0,40								
4		9,100E+01	0,40								

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	Displacements UY (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,459E-01	4,258E-01	5,455E-01	-1,255E-01	2,068E+02	3,141E+02	-2,876E+02	-2,059E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	2,671E-01	-8,597E-03	-1,447E-03	-6,412E-02	1,937E+02	3,037E+02	-6,604E+02	-3,159E+01	0,000E+00
3	1	1,615E-01	0,000E+00	1,459E-01	1,727E-01	4,691E-01	-9,768E-02	4,228E+01	3,080E+02	-2,002E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,615E-01	0,000E+00	2,671E-01	-1,053E-02	-1,533E-03	-6,757E-02	1,880E+02	3,264E+02	-6,895E+02	0,000E+00	0,000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$


Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	5,00E+04
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
σ a la falla	6.56E-04
σ actuante	3.14E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_p = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	5,00E+05
σv a la falla	8.01E-04
σ actuante	6.75E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (CRITERIO DE LA MEDIA 500000)

 BISAR 3.0 - Block Report ejercicio de Andrea y Rosa System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel												
Structure				Loads								
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	
1	0,146	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00	
2	0,088	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00	
3	0,048	1,070E+02	0,40									
4		8,500E+01	0,40									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	Displacements UY (μ m)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,459E-01	4,310E-01	5,513E-01	-1,243E-01	2,090E+02	3,168E+02	-2,891E+02	-2,098E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	2,821E-01	-7,427E-03	-9,284E-04	-5,932E-02	1,961E+02	3,032E+02	-6,585E+02	-3,277E+01	0,000E+00
3	1	1,615E-01	0,000E+00	1,459E-01	1,786E-01	4,783E-01	-9,648E-02	4,482E+01	3,108E+02	-2,016E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,615E-01	0,000E+00	2,821E-01	-8,631E-03	-9,285E-04	-6,303E-02	1,995E+02	3,264E+02	-6,968E+02	0,000E+00	0,000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$


Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	5.00E+04
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
ε_t a la falla	6.56E-04
ε_t actuante	3.16E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	5.00E+05
ε_v a la falla	8.01E-04
ε_v actuante	6.96E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (INAL 1000000)

 BISAR 3.0 - Block Report ejercicio de Andrea y Rosa System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel												
Structure				Loads								
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	
1	0.164	1.450E+03	0.30	1	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	0.000E+00	0.000E+00	
2	0.098	1.850E+02	0.35	2	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	3.230E-01	0.000E+00	
3	0.061	1.070E+02	0.40									
4		8.100E+01	0.40									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μstrain	Strains YY μstrain	ZZ μstrain	UX (μm)	Displacements UY (μm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	1.838E-01	3.824E-01	4.897E-01	-1.069E-01	1.845E+02	2.807E+02	-2.841E+02	-2.042E+01	0.000E+00
2	4	0.000E+00	0.000E+00	3.231E-01	-5.166E-03	-9.050E-04	-4.792E-02	1.745E+02	2.863E+02	-5.646E+02	-3.015E+01	0.000E+00
3	1	1.615E-01	0.000E+00	1.838E-01	1.987E-01	4.401E-01	-8.708E-02	6.388E+01	2.804E+02	-1.922E+02	0.000E+00	0.000E+00
4	4	1.615E-01	0.000E+00	3.231E-01	-5.305E-03	-1.899E-04	-5.144E-02	1.895E+02	2.779E+02	-6.079E+02	0.000E+00	0.000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$

Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	1.00E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
εt a la falla	5.71E-04
εt actuante	2.80E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	1.00E+06
εv a la falla	6.74E-04
εv actuante	6.07E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (PROMEDIO 1000000)



BISAR 3.0 - Block Report

ejercicio de Andrea y Rosa

System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)
1	0.164	1.450E+03	0.30	1	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	0.000E+00	0.000E+00
2	0.098	1.950E+02	0.35	2	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	3.230E-01	0.000E+00
3	0.033	1.070E+02	0.40								
4		9.100E+01	0.40								

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μstrain	Strains YY μstrain	ZZ μstrain	UX (μm)	Displacements UY (μm)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	1.639E-01	3.751E-01	4.818E-01	-1.083E-01	1.814E+02	2.771E+02	-2.820E+02	-1.988E+01	0.000E+00
2	4	0.000E+00	0.000E+00	2.951E-01	-6.765E-03	-9.484E-04	-5.478E-02	1.706E+02	2.601E+02	-5.681E+02	-2.870E+01	0.000E+00
3	1	1.615E-01	0.000E+00	1.639E-01	1.906E-01	4.317E-01	-8.876E-02	6.051E+01	2.767E+02	-1.900E+02	0.000E+00	0.000E+00
4	4	1.615E-01	0.000E+00	2.951E-01	-7.663E-03	-9.161E-04	-5.829E-02	1.760E+02	2.798E+02	-6.028E+02	0.000E+00	0.000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$

Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	1.00E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
ε_t a la falla	5.71E-04
ε_t actuante	2.76E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	1.00E+06
ε_v a la falla	6.74E-04
ε_v actuante	6.02E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (CRITERIO DE LA MEDIA 1000000)



BISAR 3.0 - Block Report

ejercicio de Andrea y Rosa

System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)
1	0,164	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00
2	0,098	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00
3	0,046	1,070E+02	0,40								
4		8,500E+01	0,40								

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μstrain	Strains YY μstrain	ZZ μstrain	UX (μm)	Displacements UY (μm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,639E-01	3,801E-01	4,872E-01	-1,073E-01	1,835E+02	2,796E+02	-2,934E+02	-2,024E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	3,081E-01	-5,891E-03	-5,746E-04	-5,115E-02	1,741E+02	2,617E+02	-3,714E+02	-2,971E+01	0,000E+00
3	1	1,615E-01	0,000E+00	1,639E-01	1,961E-01	4,375E-01	-8,761E-02	6,288E+01	2,793E+02	-1,915E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,615E-01	0,000E+00	3,081E-01	-6,378E-03	-4,927E-04	-5,469E-02	1,846E+02	2,816E+02	-6,110E+02	0,000E+00	0,000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$


Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	1.00E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
εt a la falla	5.71E-04
εt actuante	2.79E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	1.00E+06
εv a la falla	6.74E-04
εt actuante	6.11E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (INAL 1500000)

 BISAR 3.0 - Block Report ejercicio de Andrea y Rosa System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel											
Structure				Loads							
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)
1	0.176	1.450E+03	0.30	1	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	0.000E+00	0.000E+00
2	0.104	1.850E+02	0.35	2	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	3.230E-01	0.000E+00
3	0.064	1.070E+02	0.40								
4		5.100E+01	0.40								

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (um)	Displacements UY (um)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	1.759E-01	3.526E-01	4.519E-01	-9.727E-02	1.698E+02	2.589E+02	-2.335E+02	-1.982E+01	0.000E+00
2	4	0.000E+00	0.000E+00	3.441E-01	-4.350E-03	-1.643E-04	-4.329E-02	1.609E+02	2.332E+02	-5.122E+02	-2.806E+01	0.000E+00
3	1	1.615E-01	0.000E+00	1.759E-01	2.045E-01	4.158E-01	-8.181E-02	7.192E+01	2.614E+02	-1.847E+02	0.000E+00	0.000E+00
4	4	1.615E-01	0.000E+00	3.441E-01	-4.233E-03	-2.751E-05	-4.656E-02	1.778E+02	2.505E+02	-5.538E+02	0.000E+00	0.000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$


Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	1.50E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
ε_t a la falla	5.27E-04
ε_t actuante	2.61E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	1.50E+06
ε_v a la falla	6.07E-04
ε_v actuante	5.53E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (PROMEDIO 1500000)

 BISAR 3.0 - Block Report ejercicio de Andrea y Rosa System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel												
Structure				Loads								
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	
1	0.176	1.450E+03	0.30	1	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	0.000E+00	0.000E+00	
2	0.104	1.855E+02	0.35	2	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	3.230E-01	0.000E+00	
3	0.033	1.070E+02	0.40									
4		9.100E+01	0.40									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (μ m)	Displacements UV (μ m)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	1.759E-01	3.461E-01	4.450E-01	-9.855E-02	1.670E+02	2.557E+02	-2.316E+02	-1.934E+01	0.000E+00
2	4	0.000E+00	0.000E+00	3.131E-01	-5.823E-03	-7.189E-04	-4.976E-02	1.579E+02	2.364E+02	-5.181E+02	-2.493E+01	0.000E+00
3	1	1.618E-01	0.000E+00	1.759E-01	1.973E-01	4.084E-01	-6.333E-02	6.884E+01	2.581E+02	-1.828E+02	0.000E+00	0.000E+00
4	4	1.618E-01	0.000E+00	3.131E-01	-6.290E-03	-6.396E-04	-5.316E-02	1.674E+02	2.543E+02	-5.537E+02	0.000E+00	0.000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$

Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	1.50E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
σ a la falla	5.27E-04
σ actuante	2.58E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	1.50E+06
σv a la falla	6.09E-04
σv actuante	5.53E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (CRITERIO DE LA MEDIA 1500000)



BISAR 3.0 - Block Report

ejercicio de Andrea y Rosa

System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)
1	0,176	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00
2	0,104	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00
3	0,048	1,070E+02	0,40								
4		8,500E+01	0,40								

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (um)	Displacements UY (um)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,759E-01	3,505E-01	4,497E-01	-9,766E-02	1,689E+02	2,379E+02	-2,329E+02	-1,966E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	3,281E-01	-5,005E-03	-3,907E-04	-4,626E-02	1,606E+02	2,366E+02	-5,188E+02	-2,774E+01	0,000E+00
3	1	1,615E-01	0,000E+00	1,759E-01	2,022E-01	4,135E-01	-9,229E-02	7,093E+01	2,603E+02	-1,841E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,615E-01	0,000E+00	3,281E-01	-5,136E-03	-2,744E-04	-4,961E-02	1,743E+02	2,544E+02	-5,581E+02	0,000E+00	0,000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$


Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	1.50E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
el a la falla	5.27E-04
el actuante	2.60E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	1.50E+06
el a la falla	6.09E-04
el actuante	5.58E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (INAL 2000000)

		BISAR 3.0 - Block Report ejercicio de Andrea y Rosa System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel										
Structure				Loads								
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	
1	0,183	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00	
2	0,103	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00	
3	0,069	1,070E+02	0,40									
4		8,100E+01	0,40									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μstrain	Strains YY μstrain	ZZ μstrain	UX (μm)	Displacements UY (μm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,828E-01	3,378E-01	4,328E-01	-9,204E-02	1,623E+02	2,477E+02	-2,229E+02	-1,951E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	3,571E-01	-3,950E-03	-1,214E-04	-4,083E-02	1,535E+02	2,197E+02	-4,840E+02	-2,687E+01	0,000E+00
3	1	1,615E-01	0,000E+00	1,828E-01	2,074E-01	4,033E-01	-7,878E-02	7,587E+01	2,515E+02	-1,807E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,615E-01	0,000E+00	3,571E-01	-3,718E-03	1,943E-05	-4,395E-02	1,710E+02	2,356E+02	-5,243E+02	0,000E+00	0,000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$

Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	2.00E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
εt a la falla	4.97E-04
εt actuante	2.51E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	2.00E+06
εv a la falla	5.66E-04
εv actuante	5.24E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (PROMEDIO 2000000)



BISAR 3.0 - Block Report

ejercicio de Andrea y Rosa

System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel

Structure

Loads

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)
1	0.183	1.450E+03	0.30	1	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	0.000E+00	0.000E+00
2	0.105	1.950E+02	0.35	2	2.000E+01	5.488E-01	0.000E+00	0.000E+00	1.077E-01	2.230E-01	0.000E+00
3	0.038	1.070E+02	0.40								
4		9.100E+01	0.40								

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX μ strain	Strains YY μ strain	ZZ μ strain	UX (um)	Displacements UV (um)
1	1	0.000E+00	0.000E+00	1.829E-01	3.313E-01	4.261E-01	-9.328E-02	1.596E+02	2.446E+02	-2.211E+02	-1.905E+01	0.000E+00
2	4	0.000E+00	0.000E+00	3.271E-01	-5.276E-03	-6.216E-04	-4.668E-02	1.499E+02	2.213E+02	-4.870E+02	-2.581E+01	0.000E+00
3	1	1.613E-01	0.000E+00	1.829E-01	2.006E-01	3.963E-01	-8.022E-02	7.293E+01	2.484E+02	-1.768E+02	0.000E+00	0.000E+00
4	4	1.613E-01	0.000E+00	3.271E-01	-5.487E-03	-5.237E-04	-5.000E-02	1.618E+02	2.381E+02	-5.230E+02	0.000E+00	0.000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$


Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	2.00E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m ²)	1.45E+09
σ a la falla	4.97E-04
σ actuante	2.48E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	2.00E+06
σ a la falla	5.66E-04
σ actuante	5.23E-04
Evaluación	Cumple

Tramo homogéneo 5 (CRITERIO DE LA MEDIA 2000000)

 BISAR 3.0 - Block Report ejercicio de Andrea y Rosa System 1: Positions Between the Wheels and Under a Wheel												
Structure				Loads								
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	
1	0,183	1,450E+03	0,30	1	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	0,000E+00	0,000E+00	
2	0,105	1,950E+02	0,35	2	2,000E+01	5,488E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,077E-01	3,230E-01	0,000E+00	
3	0,056	1,070E+02	0,40									
4		8,500E+01	0,40									

Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	XX (MPa)	Stresses YY (MPa)	ZZ (MPa)	XX µstrain	Strains YY µstrain	ZZ µstrain	UX (µm)	Displacements UY (µm)
1	1	0,000E+00	0,000E+00	1,829E-01	3,333E-01	4,303E-01	-9,249E-02	1,613E+02	2,466E+02	-2,222E+02	-1,934E+01	0,000E+00
2	4	0,000E+00	0,000E+00	3,451E-01	-4,457E-03	-3,130E-04	-4,308E-02	1,518E+02	2,200E+02	-4,843E+02	-2,643E+01	0,000E+00
3	1	1,618E-01	0,000E+00	1,829E-01	2,049E-01	4,007E-01	-7,930E-02	7,478E+01	2,504E+02	-1,800E+02	0,000E+00	0,000E+00
4	4	1,618E-01	0,000E+00	3,451E-01	-4,370E-03	-1,869E-04	-4,630E-02	1,673E+02	2,363E+02	-5,233E+02	0,000E+00	0,000E+00

4 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR TRACCION - LEY DE FATIGA DEL CONCRETO ASFALTICO DE SHELL

$$\varepsilon_t = (0.856 \times V_b + 1.08) S_{mix}^{-0.36} \times N_{lab}^{-0.20}$$

Vb = Volumen de asfalto (%)	12
Shif factor	10
N lab	2.00E+05
Modulo de mezcla asfaltica (N/m²)	1.45E+09
εt a la falla	4.97E-04
εt actuante	2.50E-04
Evaluación	Cumple

5 DEFORMACIONES ADMISIBLES POR COMPRESION - LEY DE FATIGA DE SUBRASANTE DE SHELL (85% DE CONFIABILIDAD)

$$\varepsilon_v = 2.13 \times 10^{-2} N^{-0.25}$$

N diseño	2.00E+06
εv a la falla	5.66E-04
εv actuante	5.23E-04
Evaluación	Cumple